

# 森林総合研究所研究報告

Vol. 22 No. 2 (No. 466)

## BULLETIN

of the  
Forestry and  
Forest Products  
Research Institute



June 2023

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute



# 森林総合研究所研究報告編集委員会

## 編集委員長

服部 力

Tsutomu HATTORI

The Chief Editor

研究ディレクター

Principal Research Director, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

## 副編集委員長

佐藤 重穂

Shigeho SATO

The Vice-Chief Editor

広報普及科長

Public Relations Division, FFPRI

## 編集委員

相川 拓也

Takuya AIKAWA

Editors

東北支所

Tohoku Research Center, FFPRI

長谷川 陽一

Yoichi HASEGAWA

樹木分子遺伝研究領域

Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI

櫃間 岳

Gaku HITSUMA

森林植生研究領域

Department of Forest Vegetation, FFPRI

鹿又 秀聡

Hidesato KANOMATA

林業経営・政策研究領域

Department of Forest Policy and Economics, FFPRI

村上 亘

Wataru MURAKAMI

森林防災研究領域

Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI

野口 正二

Shoji NOGUCHI

国際農林水産業研究センター

Japan International Research Center for Agricultural Sciences

大平 峰子

Mineko OHIRA

林木育種センター

Forest Tree Breeding Center, FFPRI

奥田 史郎

Shiro OKUDA

植物生態研究領域

Department of Plant Ecology, FFPRI

佐山 勝彦

Katsuhiko SAYAMA

九州支所

Kyushu Research Center, FFPRI

関 伸一

Shinichi SEKI

関西支所

Kansai Research Center, FFPRI

高野 麻理子

Mariko TAKANO

森林資源化学研究領域

Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI

瀧 誠志郎

Seishiro TAKI

林業工学研究領域

Department of Forest Engineering, FFPRI

山田 利博

Toshihiro YAMADA

東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

山下 香菜

Kana YAMASHITA

木材加工・特性研究領域

Department of Wood Properties and Processing, FFPRI

山下 尚之

Naoyuki YAMASHITA

立地環境研究領域

Department of Forest Soils, FFPRI

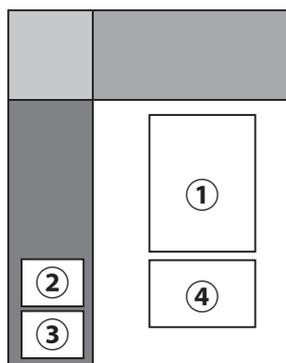
安田 幸生

Yukio YASUDA

森林防災研究領域

Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI

This journal is indexed in CAB Abstracts.



## 表紙写真 Photographs in Cover

① 北海道支所実験林のウダイカンバ（札幌市）

Monarch birch at Hitsujiigaoka experimental forest of Hokkaido Research Center in Sapporo City

② 接着重ね材パネルを壁柱として用いた構造の熊本県立球磨工業高校図書室

Library using wall pillar structure of glued laminated timber in Kumamoto Prefectural Kuma Technical High School

③ 自動撮影カメラにより撮影されたエゾシカの若いオス（北海道夕張市）

A young male Yezo deer photographed by an automatic camera in Yubari City, Hokkaido

④ [本文 73-75 ページ] タイワンタケクマバチの穿孔を受けた青竹（上：表面、下：内側）

Fresh bamboo bored by *Xylocopa tranquebarorum* (Upper: surface, Lower: inside)

# 森林総合研究所研究報告 第22巻2号(通巻466号) 2023.6

## 目次

### 論文

グラップルソーを用いた広葉樹造材における生産性

鈴木秀典、中澤昌彦、伊藤崇之、山口智、関子光太郎 … 43

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、古澤仁美、岡本透、玉井幸治、平野恭弘 …… 51

### ノート

タイワンタケクマバチの青竹への穿孔

神崎菜摘、藤森友太、濱口京子 …………… 73

### 研究資料

北海道支所実験林内の14成長期経過林分におけるシラカンバの年輪データ

伊東宏樹、中西敦史 …………… 77

徳島県「大里松原」海岸林におけるクスノキ成木の30年間の肥大成長過程

—隣接個体と気象条件の影響—

大谷達也 …………… 83

竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2011年1月～2015年12月)

細田育広 …………… 89

訂正 …………… 108

# Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute

Vol. 22 No. 2 (No.466) June 2023

## CONTENTS

### *Original article*

- Productivity of hardwood processing using a grapple saw  
Hidenori SUZUKI, Masahiko NAKAZAWA, Takayuki ITO,  
Satoshi YAMAGUCHI and Kotaro ZUSHI ..... 43
- 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, Hitomi FURUSAWA, Toru OKAMOTO,  
Koji TAMAI and Yasuhiro HIRANO ..... 51

### *Note*

- Boring of *Xylocopa tranquebarorum* into fresh bamboo  
Natsumi KANZAKI, Yuta FUJIMORI  
and Keiko HAMAGUCHI .....73

### *Research record*

- Tree growth ring data of *Betula platyphylla* var. *japonica* obtained in a 14-year-old stand at the experimental forest of the Hokkaido Research Center, FFPRI  
Hiroki ITÔ and Atsushi NAKANISHI ..... 77
- The thickening growth process of *Cinnamomum camphora* trees during 30 years in Ozato coastal forest, Tokushima, Shikoku Island  
—effects of the nearest neighbor and climate conditions—  
Tatsuya OTANI ..... 83
- Hydrological observation reports in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed (January 2011–December 2015)  
Ikuhiro HOSODA ..... 89

- Erratum* ..... 108

## 論文 (Original Article)

# グラップルソーを用いた広葉樹造材における生産性

鈴木 秀典<sup>1)\*</sup>、中澤 昌彦<sup>1)</sup>、伊藤 崇之<sup>1)</sup>、山口 智<sup>1)</sup>、岡子 光太郎<sup>2)</sup>

### 要旨

コナラが優占する広葉樹二次林において、グラップルソーを用いた造材作業の生産速度および労働生産性を明らかにした。造材作業はグラップルソー操作員とチェーンソー作業員の2名で行われ、生産速度は3.2 m<sup>3</sup>/時、労働生産性は1.6 m<sup>3</sup>/人・時となった。造材に要する作業時間(実働作業時間)は胸高直径と高い相関を有し、両者の関係を示す回帰式を得た。この造材作業生産速度について、0.6 dry t/m<sup>3</sup>との仮定で海外でのグラップルソー広葉樹造材作業と比較すると、単木材積が小さいにもかかわらず本調査の生産速度より大きくなっている事例もあることから、本調査の生産速度は海外より小さいといえる。国内でのグラップルとチェーンソーによる造材作業との比較では、材の大きさが異なるものの、本調査の方が高い生産速度になるといえ、グラップルソーを用いることで生産速度向上の可能性があると見える。一方、比較した事例がすべて1人作業であったため、本調査の労働生産性は生産速度よりも相対的に低くなった。そのため、グラップルソーを用いた造材作業では労働生産性向上のために1人作業を目指すこととし、そのためにチェーンソーの利用を極力減らせるようにすることが必要といえる。しかし、チェーンソーを利用したきめ細かな採材がなくなることで、造材歩留まりは低下すると考えられるため、地域資源の有効利用の観点から、許容される最も効率的な採材基準を検討する必要がある。

キーワード：グラップルソー、広葉樹材、造材、生産速度、労働生産性、チェーンソー、鋸断時間

### 1. はじめに

広葉樹材の利用形態としては、薪炭生産や製紙用チップが主であったが、近年では、発電用チップのための収穫、生産も行われている(久保山 2016)。また、家具やフローリング用として国産広葉樹の要望も高まっている(林野庁 2021)。一方、広葉樹材の生産については、針葉樹の用材生産よりも生産性が低くなることが指摘されており(塩津ら 2011)、この理由として、単木材積が針葉樹と比べて小さく、幹が曲がっているため伐倒が難しい(久保山 2016)だけでなく、枝が太いこともあり造材作業の機械化が難しい(谷内ら 2020)ことが挙げられている。造材作業において、針葉樹材生産では一般にハーベスタやプロセッサが使用されているものの、広葉樹材ではこれらの使用が難しいため主にチェーンソーが使用されており、材の把持・整理などの補助にグラップルが使用されている。このような現状においては、生産性を向上するために造材作業の効率化が重要であり、久保山(2016)はグラップルソーの利用によってそれを実現できるとしている。また、Ruchら(2016)はグラップルソーによって広葉樹の大径材も造材することができ、効率的で使いやすい上に価格が安い機械であるとしている。

グラップルソーとは、アタッチメントとしてのグラップルにチェーンソーを取り付けたもので、日本ではベスマシンに油圧ショベルを用いることが多い。グラップルとチェーンソーの両方の機能を有することから、広葉

樹造材作業をグラップルソー1台で行える可能性がある。これによって生産性が向上するだけでなく、手持ち機械での人力作業が不要となり、ソーチェーンによる被災(鹿島・上村 2008)がなくなることも期待できる。当初、グラップルソーは玉切り作業における振動障害対策として(柴田 1990)、1977年に国産機が開発された(辻井 1991)。細い材をまとめて鋸断できることから、採材長が厳密でない場合にはプロセッサよりも効率的とされる(岩岡 2020a)。グラップルソーを用いた造材作業については、針葉樹材生産では労働強度が軽減でき、特に大径材になるほど作業効率が向上した(前田 1994)との報告があるものの、広葉樹材生産では生産性に関する報告がほとんどない。そこで、広葉樹材生産におけるグラップルソーを用いた造材作業の生産性を明らかにすることを目的として調査を行った。さらに、得られた生産性を他の事例と比較し、グラップルソーの導入効果について考察を行った。なお、岩岡(2020b)によれば、生産性とは投入量と産出量の比であり、労働力を投入量とするものが労働生産性である。また、単位時間あたりの生産量は生産速度と定義される。本稿では、生産速度と労働生産性について明らかにし、検討を行った。

### 2. 調査方法

#### 2.1 調査地

富山市内において、バイオマス発電用チップの生産を

原稿受付：令和4年10月4日 原稿受理：令和5年1月30日

1) 森林総合研究所 林業工学研究領域

2) 富山県農林水産総合技術センター 森林研究所

\* 森林総合研究所 林業工学研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1、E-mail: hidesuzu@ffpri.affrc.go.jp

目的とした広葉樹皆伐作業を対象に調査を行った。対象地は標高80–100 mに位置する平坦地で、継続使用をしない簡易な集材路 (幅員3.0 m) を作設して作業が行われた (Fig.1)。作業対象地の中に0.083 haの調査プロットを設定し (Fig.1)、胸高直径10 cm以上を対象とした毎木調査により各樹木の胸高直径および樹高を得た (Table 1)。プロット内の個体数は86本で、その多くが地際から株立ちしているため、胸高直径などはそれぞれの幹ごとに計測している。幹本数は134本あり (以降、本数はすべて幹の本数を指す)、うち2本は樹高データの計測ができなかった。幹材積は、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」 (細田ら 2010) において名古屋広葉樹の関数を使用して求めた。樹種はコナラ84本、ソヨゴ23本、ウリカエデ8本、ホオノキ8本、タカノツメ4本、アオハダ4本、オオウラジロノキ2本、アカマツ1本で構成されており、コナラが優占する広葉樹二次林である。

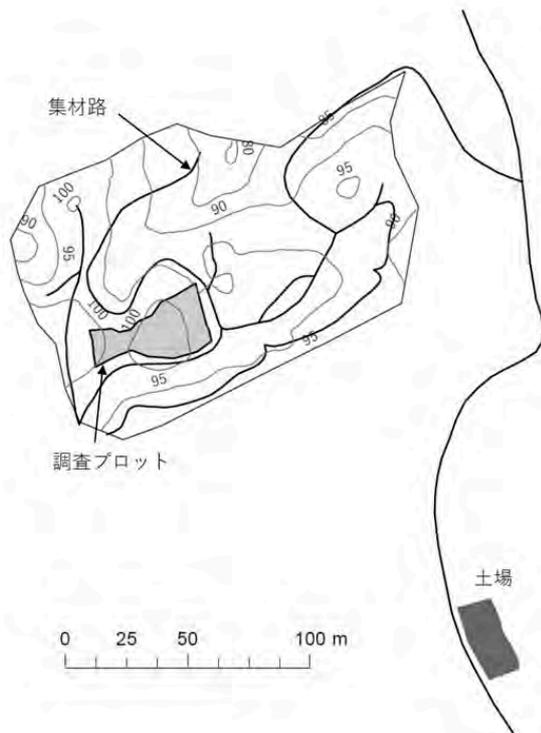


Fig. 1. 作業対象地と調査プロット  
図中の数字は等高線の標高値

Table 1. 調査プロットの概要

面積	個体数	立木密度	幹本数	幹本数密度	平均胸高直径 <sup>1)</sup>	平均樹高 <sup>1),2)</sup>	平均幹材積 <sup>1),2)</sup>	幹材積 <sup>1),2)</sup>
ha	本	本/ha	本	本/ha	cm	m	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /ha
0.083	86	1,033	134	1,610	17.1	12.5	0.171	273

1) 幹ごとに計測した値。2) 樹高データ欠損の2本を除く132本を対象。

伐木	木寄せ	造材		集材		
チェーンソー	グラップルソー	グラップルソー	チェーンソー	グラップルソー (積込み)	フォワーダ	グラップル (荷下ろし)
1名	1名	1名	1名	1名		

Fig. 2. 各工程の使用機械と作業員数

## 2.2 作業システムおよび調査方法

各工程に使用した機械および作業員数をFig.2に示す。今回は調査の都合上、直列工程にて行い、造材作業のみ2人の作業員で行った。しかし、実際の作業では、各作業がある程度並列工程で行われることが多い。木寄せ作業は全木で行われ、造材作業と同様のグラップルソーを使用した。鋸断機能は使用していない。造材作業は機械質量約13 tのベースマシン (CAT314F) に最大玉切り径700 mmのアタッチメントを装着したグラップルソー (GS-95LSJ) (Table 2) を使用した。集材作業には最大積載量3.5 tのフォワーダを使用した。荷おろしはフォワーダ荷台の後方へのダンプにより行い、はいの整理などにはグラップルを使用した。このグラップルは、ベースマシンの機械質量約7 t、最大開き幅1,625 mmである。

造材作業は集材路上で行われ、採材長4 mを基本とし、端部などはそれ以下で採材を行った。また、元口直径10 cm以上を生産対象としている。玉切り作業では測尺を行わず、造材場所に設置した4 m材を目安として、鋸断位置を決定した。調査期間中、グラップルソーの操作には2名の作業員が従事したが、いずれの作業員も経験年数10年以上の熟練者である。

調査はビデオ撮影した各作業の時間分析により実施し、生産量は造材直後に計測した元口・末口径および材長 (いずれも1 cm括約) からスマリアン式によって算出した。

## 3. 結果

Table 3に各工程に要した作業時間および生産速度と労働生産性を示す。生産速度は造材作業で3.2 m<sup>3</sup>/時と全工程の中で最も低くなっており、全体を効率化するためには造材作業の効率を向上することが重要であることが分

Table 2. グラップルソー諸元

ベースマシン	運転質量 (kg) <sup>1)</sup>	13,300
	エンジン定格出力 (kW)	72.3
アタッチメント	最大開き幅 (mm)	1,960
	最小つかみ径 (mm)	130
	最大玉切り径 (mm)	700
	鋸部ガイドバー (mm)	1,000
	質量 (kg)	1,085
	アームへの装着方式	固定式

1) バケット装着時

Table3. 各工程の作業時間と生産性

	伐木	木寄せ	造材	集材	全体
作業時間 <sup>1)</sup> (秒)	8,620	4,499	24,211	13,347	50,677
生産速度 (m <sup>3</sup> /時)	9.2	17.7	3.2	6.0	1.6
労働生産性 <sup>2)</sup> (m <sup>3</sup> /人・時)			1.6 (2.7)		1.1 (1.4)

1) 作業時間には休憩時間およびチェーンソーへの給油、機械の調整時間を含む。

2) カッコ内の数値はチェーンソー作業員の待機時間を除いて算出した値。

かる。なお、造材作業に従事したチェーンソー作業員は、総作業時間の約8割が待機時間であった。しかし、通常は各作業がある程度並列で行われており、各作業員が複数作業を並列で行うことで、造材作業におけるチェーンソー作業員の待機時間は少なくなると考えられる。一方、この待機時間をすべて他の作業にあてることも現実的には難しい。そこで、Table 3には待機時間を含めた総作業時間で求めた労働生産性1.6 m<sup>3</sup>/人・時を示すとともに、参考として、待機時間を除いて算出した労働生産性2.7 m<sup>3</sup>/人・時をカッコで示すこととする。また、造材作業の労働生産性が1.6 m<sup>3</sup>/人・時のときには全体の労働生産性が1.1 m<sup>3</sup>/人・時、2.7 m<sup>3</sup>/人・時のときには1.4 m<sup>3</sup>/人・時となる (Table 3)。並列作業によって待機時間を減らすことができれば、カッコ内の労働生産性に近づけることができる。なお、造材作業では1本分のデータ欠損が生じたため、この材積および造材作業に要した作業時間を除いている。

造材作業の要素作業を、材つかみ、玉切り・枝払い、はい積み、末木枝条処理、その他に区分し、各割合を明らかにした (Fig.3)。材つかみとは、木寄せ、集積した全木材から造材する材を取り出す作業で、このための走行、旋回を含む。玉切り・枝払いは、グラップルソーもしくはチェーンソーによる玉切り、枝払い、およびグラップルソーによる玉切りのための材送り作業である。この材送りとはグラップルソーによって玉切り位置をつかみなおす作業を指し、材つかみの際につかんだ位置と玉切り位置が異なる場合に行われる。はい積みとはフォワード集材前の丸太を積み上げる作業であり、末木枝条処理とは枝払いによって発生した枝条を一箇所に集積する作業である。その他には、機械調整、準備片付け、休憩、土場整理などの時間を含む。Fig.3をみると、玉切り・枝払いが33% と最も多くの作業時間を占めており、以下、材つかみ21%、末木枝条処理20%、はい積み17%、その他9% となった。なお、Fig.3ではチェーンソー作業員の待機時間は除いている。

割合の最も大きかった玉切り・枝払い作業について、さらに詳細な要素作業時間割合をみると、チェーンソーによる枝払い作業時間が40% と最も多く、次にグラップルソー玉切り作業が34% となった (Fig.4)。つまり、多くの場合、枝払いはチェーンソーで、玉切りはグラップルソーで行われたことが分かる。一方、作業時間としては

少なかったチェーンソーによる玉切りについては、二股のうち的一方のみを鋸断するときなどに行われ、グラップルソーによる枝払いは太い枝などで見られた。その他の作業はすべて合わせても全体の約1/4程度の作業時間となっており、チェーンソーによる枝払いとグラップルソーによる玉切り作業が多くの割合を占めた。

幹の胸高直径と造材作業時間の関係をFig.5に示す。欠損および枯木データを除いたため、データ数は131であ

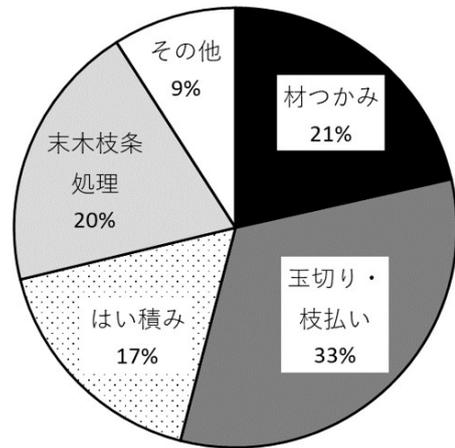


Fig. 3. 造材作業における各要素作業時間の割合

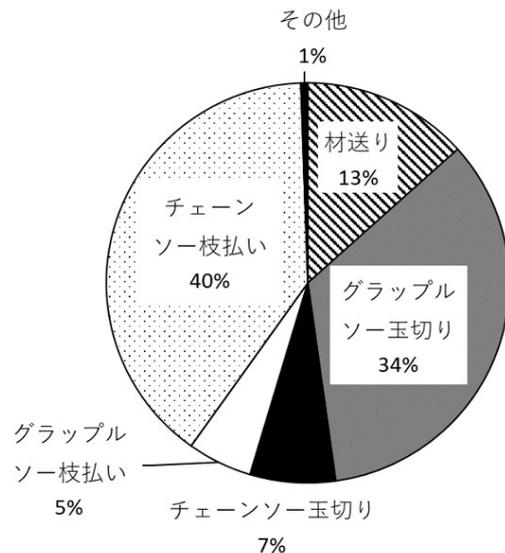


Fig. 4. 玉切り・枝払い作業における各要素作業時間の割合

る。胸高直径の増加に従い作業時間も増加し、以下の(1)式で作業時間を回帰することができる。

$$y = 40.1 e^{0.0819x} \quad (1)$$

このとき、 $x$ : 胸高直径 (cm)、 $y$ : 1本あたりの作業時間 (秒) である。ただし、この作業時間は休憩時間を除いた実働作業時間 (岩岡 2020b) である。

#### 4. 考察

##### 4.1 造材作業の生産速度

グラップルソーを用いた広葉樹造材の生産速度については、国内での報告例がほとんどないことから、海外での事例との比較を行う。Spinelliら (2019) は、グラップルソーを用いた広葉樹を含む造材生産速度を解明するとともに、生産速度に影響するパラメータの検討を行っている。北部および中部イタリアにおける調査結果は、広葉樹において0.7~10.9 dry t/SMHの生産速度であった。これは、木材の密度を仮に0.6 dry t/m<sup>3</sup>とすると、1.2~18.2 m<sup>3</sup>/SMHとなる (Table 4)。SMH (Scheduled Machine Hour) とは遅延や休憩時間を含む機械作業時間で、機械の稼働が予定されている時間 (吉村・鈴木2022) あるいは総作業時間 (岩岡 2020b) と言い換えることができる。よって、m<sup>3</sup>/SMHは本稿での生産速度に等しい。この値については、立木の大きさの影響を強く受けるとされ、Spinelliら (2019) は、この他に作業場所 (林内/土場)、玉切り精度、他の工程との連携の有無、最大玉切り径といった要因の影響も示している。これらの区分に従うと、本調査事例は、造材場所が林内で、他工程との連携がない作業条件となる。上述したとおり、本調査の造材作業は集材路上で行われたが、土場での作業よりも作業面積が小さく、そのために枝条の集積箇所に十分な余裕がないなど、作業効率の支障となる場面もみられたことから、造材場所は林内と考えられる。玉切りについてはおおよその採材長が定められていたものの、材長のばらつきも大きかったため、どちらかといえば粗い精度で行われたといえる。また、最大玉切り径については、本例より小

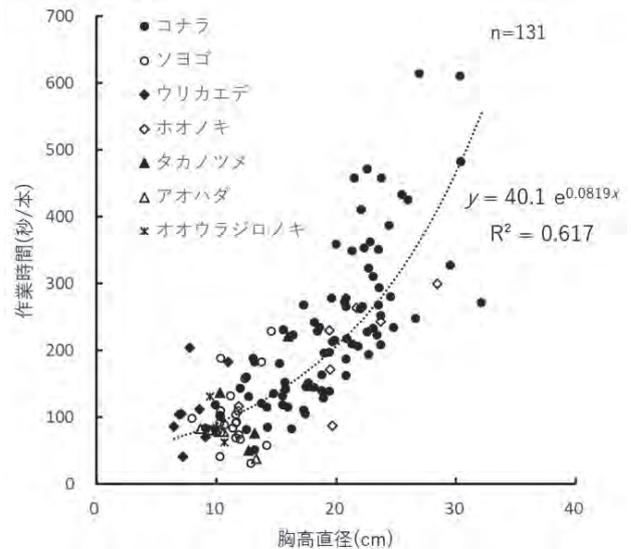


Fig. 5. 造材作業時間と胸高直径の関係

い事例が作業番号7、8であった。いずれの作業においても、グラップルソーの操作員は調査前に少なくとも6か月以上の作業経験を有しており、技術の未熟な初心者はいなかったとされる。なお、単木材積については、Spinelliら (2019) の単木の乾燥質量を材積に変換した。生産速度に影響を与えるとされるすべての要因をそろえた比較はできないため、いくつかの要因に着目した比較を行う。換算した単木材積に着目すると、本事例に最も近い8は本例よりやや小さい生産速度となっている。しかし、他工程との連携があったことが生産速度に影響した可能性も考慮する必要がある。2、3については、本例より単木材積が小さく、玉切り精度が高かったにも関わらず、本例より大きな生産速度となっている。一方、単木材積が最も小さい7では本例より小さい生産速度となっている。造材場所に着目すると、本例は林内で造材された1、6、3の中で最も小さい生産速度となっており、他工程との連携がない3、5、6、7との比較では、単木材積が最も小さい7に次いで小さい生産速度となっている。これらの比較から、本例はイタリアよりも小さい生産速度だったと考えられる。これは、本例の玉切りはすべて1本ずつ行ったの

Table 4. Spinelli (2019) の報告による造材作業の生産性と主な作業条件

作業番号 <sup>1)</sup>	生産速度 <sup>2)</sup>		単木乾燥質量 dry kg/tree	単木材積 <sup>3)</sup> m <sup>3</sup> /tree	林型区分	樹種	造材場所	他工程との連携	製品	玉切り精度	運転質量 kg	エンジン 定格出力 kW	最大玉 切り径 <sup>3)</sup> mm
	dry t/SMH	m <sup>3</sup> /SMH											
1	3.6	6.0	254	0.423	雑木林	O、C、L	林内	有	薪 (6 m)	粗い	11,500	73	700
2	2.4	4.0	58	0.097	雑木林	C、L	土場	有	杭、薪、チップ	高い	7,600	50	700
3	4.0	6.7	63	0.105	雑木林	L	林内	無	薪 (2.4 m)	高い	13,300	66	700
5	10.9	18.2	395	0.658	雑木林	B、H、C	土場	無	薪 (4 m)	粗い	20,500	99	800
6	6.7	11.2	228	0.380	雑木林	TO	林内	無	丸太	粗い	13,600	68	700
7	0.7	1.2	27	0.045	雑木林	C、B	土場	無	杭、薪、チップ	高い	7,600	50	500
8	1.8	3.0	124	0.207	高木林	B	土場	有	薪 (3 m)	粗い	5,200	34	500

O: コナラ属 (アカガシワ (*Quercus rubra* L.)), ヨーロッパナラ (*Quercus robur* L.)), C: ヨーロッパグリ (*Castanea sativa* Mill.), L: ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.), B: ヨーロッパブナ (*Fagus sylvatica* L.), H: アサダ属の一種 (*Ostrya carpinifolia* Scop.), TO: トルコナラ (*Quercus cerris* L.)

1) 作業番号4は針葉樹のため除いた。2) 密度を0.6 dry t/m<sup>3</sup>として材積を算出した。3) Table 2に合わせmmで表記した。

に対し、Spinelliら (2019) の報告では、通常、複数の木をグラップルソーで把持し、まとめて造材したことが原因と考えられる。このような方法で造材されたことから、7、8のように最大玉切り径が500 mm以下の機械での生産速度が小さくなったと考えられるが、本例のように1本ずつ玉切りを行うのであれば、大径材でない限り、最大玉切り径が生産速度に及ぼす影響は大きくないと考えられる。

また、油圧ショベルアームへの作業機装着方式には、吊り下げ式と固定式がある (岩岡 2020a)。本調査では固定式のグラップルソーが使用され (Table 2)、Spinelliら (2019) の報告では記載がないものの、現場写真からは少なくとも2、3、5、6の現場では吊り下げ式が使用されたことが確認できる。吊り下げ式は、曲がった材や枝に対して揺動するグラップルソーを押しつけるだけで把持することができるため、広葉樹材の造材作業を効率的に行える可能性がある。一方、日本では油圧ショベルへのグラップルソーおよびグラップルの装着は固定式が多いが、材を垂直に把持することが可能となるため、狭い場所での材の取り回しなどにメリットがあると考えられる。これら各装着方式の特性が、生産速度および作業の安全性などに及ぼす影響については、今後検討される必要がある。

国内の広葉樹造材生産速度については、グラップルとチェーンソーを用いた作業についての報告がある。コナラが優占する広葉樹天然林では、造材作業の生産速度が帯状間伐区で3.2 m<sup>3</sup>/時、点状間伐区で1.7 m<sup>3</sup>/時であった (中澤ら 2019)。また、積雪期の平坦地において、やはりコナラが優占する広葉樹林の更新伐事業では、グラップルとチェーンソーを用いた造材作業を従来型として、フェラーバンチャやハーベスタによる作業と比較を行っている。その結果、従来型では3.6 m<sup>3</sup>/時の生産速度であった (中澤ら 2020)。これらの値は、本調査の3.2 m<sup>3</sup>/時と比較すると帯状区、従来型と同程度、点状区では半分程度となっている。これらの現場における平均単木材積は、報告されている数値から帯状区0.44 m<sup>3</sup>、点状区0.19 m<sup>3</sup>と計算することができ、従来型では0.94 m<sup>3</sup>と報告されている。作業条件がそれぞれ異なるものの、帯状区、従来型では本調査よりも大きな材が扱われていたにも関わらず生産速度は同程度となった。そのため、グラップルソーを用いた造材作業は、グラップルとチェーンソーによる作業よりも生産速度が高くなる可能性がある。さらに、今回の調査で行われた玉切り作業において、鋸断に要した時間をグラップルソーとチェーンソーで比較したところ、グラップルソーで鋸断した材の方が、平均鋸断直径が約1.5 cm大きかったにも関わらず、鋸断時間は平均約9秒短くなっていた (Fig.6)。ただし、2本同時に玉切りしたものや、鋸断直径の不明なデータを除いている。チェーンソーで鋸断した材は、グラップルソーで鋸断できない二股などの特異な樹形が多かったことも考慮する

必要があり、一概に比較することはできないが、玉切り作業にグラップルソーを用いることにより、生産速度が向上する可能性が示されたといえる。

#### 4.2 造材作業の労働生産性

これまでに本例との比較を行った国内外の報告は、すべて1人で造材作業が行われている。そのため、労働生産性で比較すると本事例だけが1.6 (2.7) m<sup>3</sup>/人・時となり、相対的に低い生産性となる (カッコ内はチェーンソー作業員の待機時間を除いて算出した値)。この値は、Spinelliら (2019) の報告において単木材積が0.045 m<sup>3</sup>と最も小さい作業番号7よりは大きくなるものの、労働生産性の最も高い事例の1/10以下と、生産速度での比較よりさらに低位になる。そのため、国内におけるグラップルソー造材については、特に労働生産性を改善し、そのための作業方法を検討する必要性が示されたといえる。

本例では2人で造材作業を行ったため、チェーンソー作業員の待機時間が多くなった。実際には各作業がある程度並列にて行われるため、この待機時間は削減されるものと考えられるが、待機時間を完全になくすことは難しい。また、並列作業では、重機とチェーンソー作業員の近接作業となるなど安全性の低下が考えられるだけでなく、広い作業場所を必要とすることもあり、安全・効率的な実行は難しいと考えられる。そのため、労働生産性を向上するためには、1人で造材作業を行えるようにしていくことが望ましい。ただし、現行の採材基準のまま1人作業になると、同一作業員がグラップルソーとチェーンソーの両作業を兼任することになり、油圧ショベルの操縦席から頻りに乗り降りする必要が生じる。これによって造材作業に遅れが生じてしまい、作業時間の増加によって元の生産速度よりも小さい値になってしまうと考

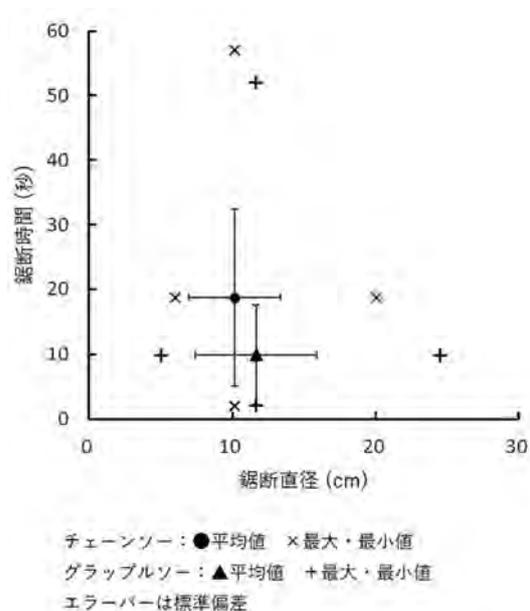


Fig. 6. 玉切り作業における鋸断直径と鋸断時間の関係

えられる。さらに、労働強度の増加や、乗降車の際の転倒事故なども予見され、労働安全上も好ましくない。そのため、労働生産性の向上を目指して1人作業とする際にはグラップルソーだけで効率的に作業ができるような採材の基準・品質とすることが求められる。今回の調査では、元口直径10 cm以上が生産対象とされたため、末口直径は5 cm程度の丸太もあった。このような細い丸太は梢端部や枝から採材されるため、細い枝が多く枝分かれている。このような枝をグラップルソーで枝払いするためには、チェーンソーガイドバーの位置や向きを頻繁に変える動作が必要となる。また、地面に対して垂直方向に伸びた枝などアタッチメント部の回転だけで枝払いできない場合には、さらにブーム・アームを操作してガイドバーの向きを大きく変えるか、材の方を動かして枝の向きを変える作業を要する。これらにより作業効率は落ちると考えられるが、直径の小さな材を生産対象とせず、細い枝の枝払い作業がなくなれば、グラップルソーだけでも効率的な作業が可能になる。これにより造材歩留まりは低下してしまうものの、歩留まりの低下による産出量の減少を、投入量(作業時間)の減少が上回ることができれば、労働生産性は向上する。そのため、このバランスを意識して採材基準を検討する必要がある。一方で、得られる労働生産性の向上だけでなく、経済性および地域資源の有効利用などの観点からも、歩留まりの低下を許容される範囲にとどめることが重要であり、これらを総合的に検討する必要がある。なお、歩留まりの低下が大きい場合には、現場にチップパーを搬入して造材対象とならなかった細い枝をチップ化し、製品歩留まりを向上することも考えられる。

### 5. おわりに

グラップルソーによる広葉樹造材作業の生産速度および労働生産性を明らかにした。また、海外事例および国内のグラップルとチェーンソーによる造材事例を取り上げてこれらの比較を行うとともに、労働生産性の向上方策について労働安全衛生の観点からも考察を加えた。

国内の広葉樹造材で一般に用いられていたグラップルとチェーンソー作業による生産速度と比較すると、単木材積がほぼ同等の事例では本例の方が高い生産速度となり、鋸断時間もチェーンソーよりグラップルソーの方が短くなった。そのため、グラップルソーを使用することで生産速度を向上できる可能性がある。しかし、2人作業であったために労働生産性が低くなってしまったことから、労働生産性向上のためには1人作業を目指すとともに、チェーンソーを要する作業が少なくなるよう、採材基準を検討する必要がある。

### 謝辞

現地調査にあたっては、富山県農林水産総合技術センター森林研究所、相浦英春氏の全面的な協力をいただき

た。また、外国産樹種の和名表記にあたっては、同所、中島春樹氏の協力を得た。深く謝意を表す。また、本研究は(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号202001)の研究成果である。

### 引用文献

- 細田 和男・光田 靖・家原 敏郎(2010) 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌, 44 (2), 23-39.
- 岩岡 正博(2020a) 林業機械1-可搬式機械と車両系機械- 吉岡 拓如・酒井 秀夫・岩岡 正博・松本 武・山田 容三・鈴木 保志“森林利用学”. 丸善, 47-64.
- 岩岡 正博(2020b) 森林作業の生産性とコスト. 吉岡 拓如・酒井 秀夫・岩岡 正博・松本 武・山田 容三・鈴木 保志“森林利用学”. 丸善, 85-98.
- 鹿島 潤・上村 巧(2008) チェーンソー作業におけるソーチェーンによる被災状況と防護服による災害防止効果. 森利誌, 22, 275-278.
- 久保山 裕史(2016) 里山広葉樹資源利用の課題について. 環境情報科学, 45 (3), 38-43.
- 前田 浩二(1994) タワーヤーダとグラップルソーによる集造材作業. 日林関西支論, 3, 201-204.
- 中澤 昌彦・吉田 智佳史・佐々木 達也・上村 巧・瀧 誠志郎・伊藤 崇之・大矢 信次郎・赤松 玄人(2019) 広葉樹林分におけるタワーヤーダを用いた帯状と点状の間伐作業の生産性とコスト. 森利誌, 34, 187-196.
- 中澤 昌彦・佐々木 達也・吉田 智佳史・上村 巧・鈴木 秀典・瀧 誠志郎・大矢 信次郎・赤松 玄人・伊東 大介(2020) 積雪期の平坦地における車両系林業機械を用いた広葉樹の伐採生産性と資源量. 森利誌, 35, 189-196.
- 林野庁(2021) 令和3年版森林・林業白書. 全国林業改良普及協会, 292pp.
- Ruch, P., Montagny, X., Bouvet, A., Ulrich, E. and George, P. (2016) Mechanized processing of big broadleaved crowns an operational reality. Proceed. FORMEC Sympo., 49, 111-117.
- 柴田 順一(1990) B伐出用機械. 農業機械学会誌, 52, 113-116.
- 塩津 達哉・谷内 博規・立川 史郎・澤口 勇雄(2011) 大規模素材生産事業体における伐出・運材工程のコスト分析. 第122回日本森林学会学術講演集, F09.
- Spinelli, R., Lombardini, C., Marchi, E. and Aminti, G. (2019) A low-investment technology for the simplified processing of energy wood from coppice forests. European J. of For. Res., 138, 31-41.
- 谷内 博規・村上 尚徳・小原 誉(2020) 岩手県におけ

る広葉樹素材生産の現状と課題. 木材保存, 46, 53-56.

辻井 辰雄 (1991) 1. 多工程処理機械の解説. スリーエム研究会編 “最新林業機械ハンドブック”. スリーエム研究会, 400-407.

吉村 哲彦・鈴木 保志 (2022) 素材生産における機械化作業の生産性評価. 森利誌, 37, 95-108.

## Productivity of hardwood processing using a grapple saw

Hidenori SUZUKI<sup>1)\*</sup>, Masahiko NAKAZAWA<sup>1)</sup>, Takayuki ITO<sup>1)</sup>,  
Satoshi YAMAGUCHI<sup>1)</sup> and Kotaro ZUSHI<sup>2)</sup>

### Abstract

The production rate and labor productivity of grapple saw processing operations in a secondary hardwood forest dominated by *Quercus serrata* was determined. The production rate was 3.2 m<sup>3</sup> per hour and labor productivity was 1.6 m<sup>3</sup> per hour per person, with one grapple saw operator and one chainsaw operator. The actual time required for processing was highly correlated with tree trunk diameter at breast height, demonstrated by our regression analyses of this association. Assuming 0.6 dry t/m<sup>3</sup>, the production rate demonstrated in this study is lower than that of overseas grapple saw hardwood processing operations, as the production rate in some cases is higher than that in this study despite the small volume per tree. Comparison between grapple and chainsaw processing operations in Japan indicated the possibility of an improved production rate with a grapple saw, despite the difference in tree size. On the other hand, the labor productivity of this study was relatively lower than production rate, because all the comparison cases were one-person operations. Therefore, grapple saw processing should prioritize one-person operations to improve labor productivity and reduce chainsaw use. However, as eliminating high-quality chainsaw processing would likely reduce the production yield percentage, the most efficient method for effective local resource use must be selected.

**Key words :** grapple saw, hardwood, processing, production rate, labor productivity, chainsaw, sawing time

---

Received 4 October 2022, Accepted 30 January 2023

1) Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center, Forestry Research Institute

\* Department of Forest Engineering, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; E-mail: hidesuzu@ffpri.affrc.go.jp

## 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箇所での調査から降雨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

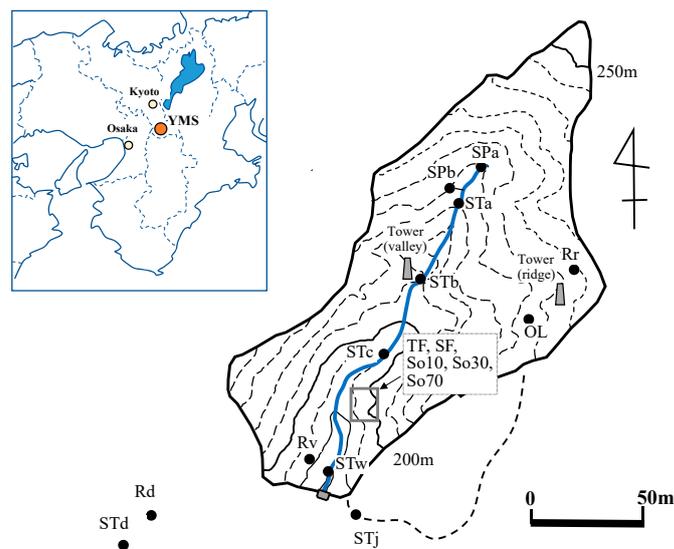


Fig.1. 山城試験地(YMS)における各試料の観測位置

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 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内であったが2004年は平

年値より $0.7^{\circ}\text{C}$ 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 $15.5^{\circ}\text{C}$ ) (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

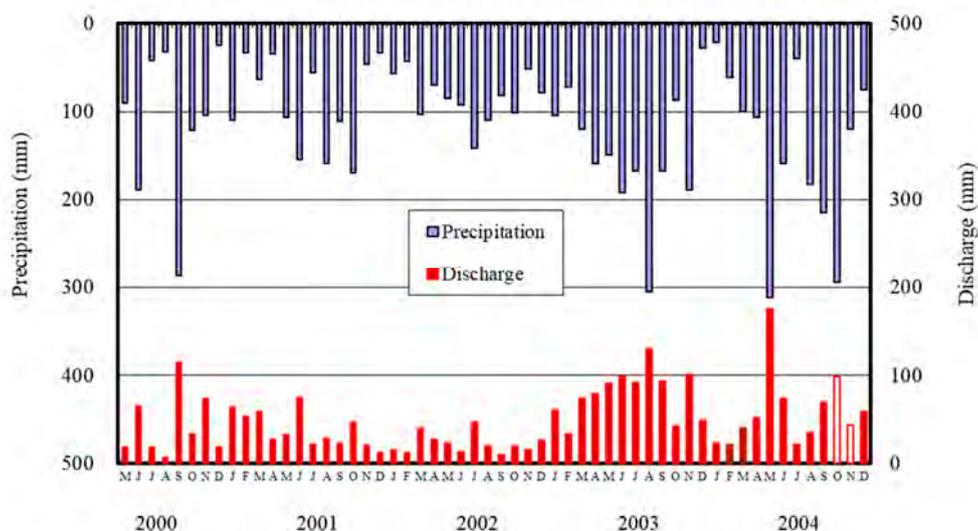


Fig.2. YMS 流域の観測期間の月降水量と月流出量

### 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 (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

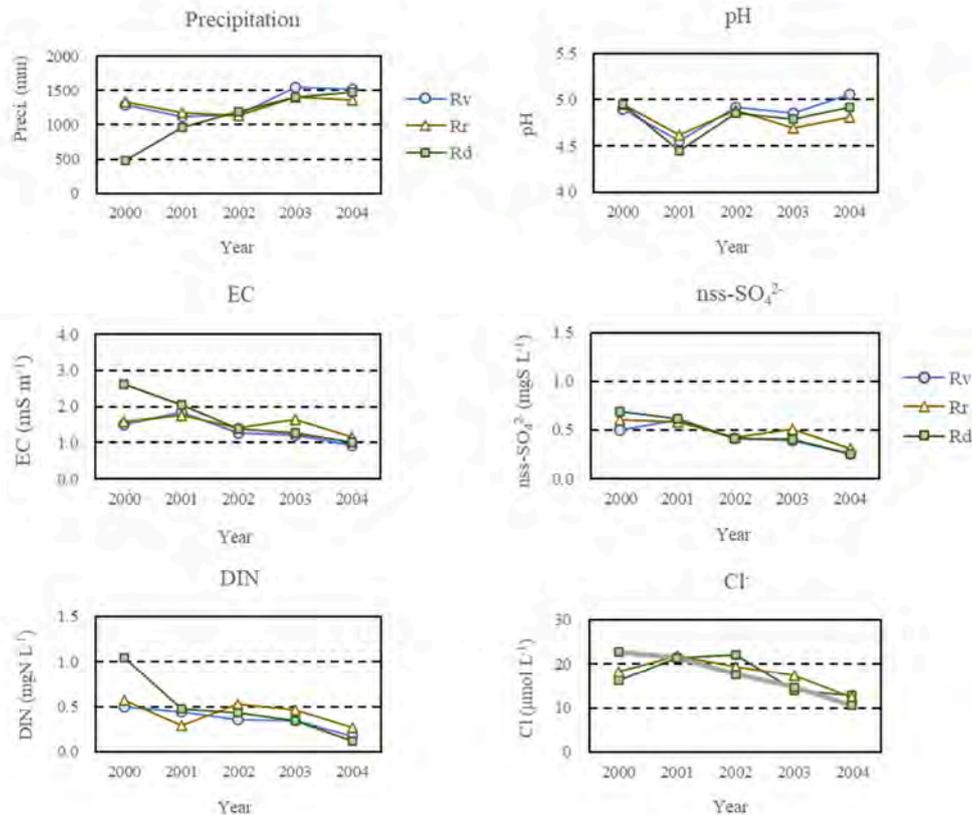


Fig. 3. 観測期間中の各年度の年降水量および降雨中主成分の年平均の変動  
Changes in the annual precipitation and yearly average of major constituents in the bulk rain on a fiscal year basis during the observation period

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 ( $1.70 \text{ mS m}^{-1}$ ) に近かった (Table 10)。イオン濃度に関しては $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ が観測地平均 ( $\text{Na}^+$ :  $31.0 \mu\text{mol L}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^-$ :  $37.0 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) に比べて低く、 $\text{Ca}^{2+}$ が観測地平均 ( $7.6 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) 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。 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ とDINは観測地平均 ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ :  $0.44 \text{ mgS L}^{-1}$ , DIN:  $0.44 \text{ mgN L}^{-1}$ ) に近く、 $\text{nss-S}$ とDINの比 ( $\text{nss-S/DIN}$ ) 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、 $2.50 \text{ mS m}^{-1}$ であり、いずれも降雨に比べて高く、DOCも $6.05 \text{ mgC L}^{-1}$ と降雨より高濃度であった (Table 5)。 $\text{H}^+$ 以外のイオンの濃度も降雨に比べて全般に高く、特に $\text{Mg}^{2+}$ と $\text{K}^+$ がそれぞれ $12.0$ 、 $73.9 \mu\text{mol L}^{-1}$ 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 $\text{K}^+$ 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 $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ 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 ( $3.03 \text{ mS m}^{-1}$ ) よりやや低かった (Table 11)。イオン濃度 (単位 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) は、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ が全国平均 ( $\text{H}^+$ : 9.9,  $\text{Na}^+$ : 50.4,  $\text{Cl}^-$ : 76.9) に比べて低く、 $\text{K}^+$ 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、 $2.99 \text{ mS m}^{-1}$ と降雨に比べて高く、DOCも $15.34 \text{ mgC L}^{-1}$ と高濃度であった (Table 4)。イオンは $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ がそれぞれ、 $42.7$ 、 $82.0$ 、 $44.5$ 、 $35.0 \mu\text{mol L}^{-1}$ 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 ( $6.25 \text{ mS m}^{-1}$ ) の半分程度と低かった (Table 12)。イオン濃度に関しては、 $\text{H}^+$ は全国平均 ( $61.8 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) に比べてかなり低く、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ 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 <sup>a</sup> 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 <i>larix</i> 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)、A0 通過水 (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	4.12	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	2.50	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	2.81	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	2.60	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	2.50	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	467.7	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. °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	
2001-2004	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	14.2	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	0.090	4.29	12.15
	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	0.051	3.79	11.93
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	0.062	4.31	12.34	
2001-2004	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	0.071	4.09	12.25	
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	
2001-2004	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	
2001-2004	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「---」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>	Cd <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>	
2000	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	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	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	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	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	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	9.62	
	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	10.08
	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	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)	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> , μmol L <sup>-1</sup>	DIN, mgN L <sup>-1</sup>	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /DIN	
																				A.S.L.
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	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	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	Himekama	1995/4/17	1999/11/1	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	Natural forest (evergreen conifers)	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	Man-made Forest ( <i>Cryptomeria japonica</i> )	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>	Yamashiro (YMS) <sup>b</sup>	2000/7/26	2005/1/19	Natural forest (deciduous broad-leaved trees)	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	Man-made Forest ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> )	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	Man-made Forest ( <i>Castanopsis cuspidata</i> )	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	Man-made Forest ( <i>C. japonica</i> )	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	Man-made Forest ( <i>C. obtusa</i> )	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

a 試験地の緯度・経度、標高は Table 10 と同じ。b 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	Himekama	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	コメツガ	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>	Yamashiro (YMS) <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	コジイ	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	

a 試験地の緯度・経度、標高は Table 10 と同じ。b 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	199.9
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	Katara	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
南股	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
川城 (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。今となっ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

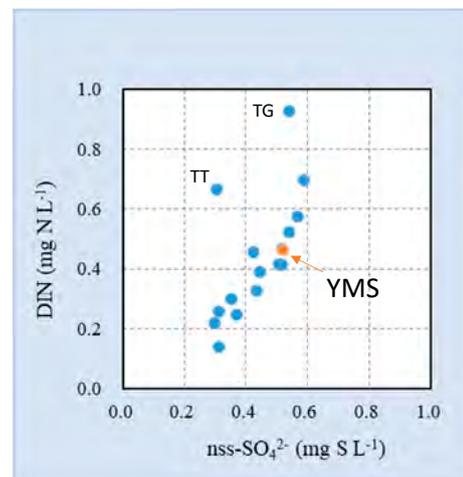


Fig.4. 森林降雨渓流水質データベース (FASC-DB) の観測地における降雨の非海塩性硫酸イオン ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) 濃度と溶存無機態窒素 (DIN) 濃度の関係

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 $K^+$ の溶出量が多く、Table 11およびTable 12からカチオンに占める $K^+$ 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 $K^+$ 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 $K^+$ 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 $K^+$ 割合に違いがみられたことから、YMSでTF、SFのpHと $K^+$ 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 $K^+$ 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 $K^+$ の溶脱によってTFのpHが高まり、落葉期には $K^+$ 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 $NO_3^-$ 濃度の上昇はA0層で硝化が起きたことを示唆する。 $Ca^{2+}$ 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、 $NO_3^-$ 、 $NH_4^+$ 、 $Na^+$ 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。CI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( $22.36 \text{ mmol}_e \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )に比べて流出フラックス( $95.4 \text{ mmol}_e \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )はるかに大きい。乾性沈着も含むとされるTF+SFによるCIフラックス( $36.2 \text{ mmol}_e \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )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CI流入フラックスは $105.4 \text{ mmol}_e \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Kaneko et al. 2022)であり、渓流水への流出フラックスに

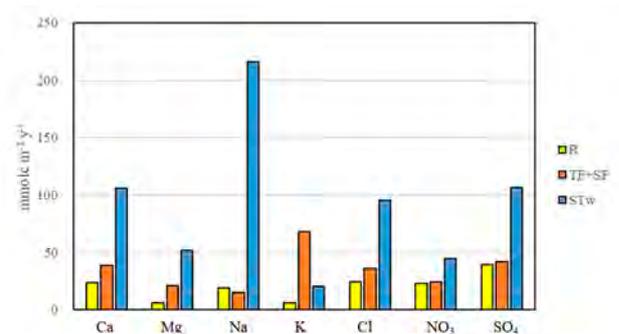


Fig. 5. 2002年7月~2004年12月のYMS流域における物質収支

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バ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., Imaya, 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 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. [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

## ノート (Note)

## 台湾タケクマバチの青竹への穿孔

神崎 菜摘<sup>1)\*</sup>、藤森 友太<sup>2)</sup>、濱口 京子<sup>1)</sup>

キーワード：台湾タケクマバチ、青竹、穿孔、営巣

台湾タケクマバチ、*Xylocopa tranquebarorum* (Swederus) は、中国、台湾など東アジア地域を原産地とするミツバチ科クマバチ属の種であり、日本へは、2005年ごろに中国からの竹材輸入に伴って侵入した外来種と考えられる(山岸ら 2018)。本種はタケ類の枯死した主幹に穿孔し、節内部に営巣することから、竹製の支柱、竹垣、竹箒などの農業、園芸資材の害虫となっている。本種の国内への定着、被害状況、在来種との競合や、随伴するダニなどの環境リスクに関しては、Okabe et al. (2010)、山岸ら (2018) にまとめられている。

本種の営巣特性として、伐採後の新鮮な竹材への穿孔例は見られるものの(田塾・黒川 2017)、青竹は使われないとされている(山岸ら 2018)。しかし、京都市伏見区の森林総合研究所関西支所構内の竹見本林において、ハウライチク *Bambusa multiplex* Raeusch. 青竹への穿孔が複数確認されたことから、穿孔を受けた節の内部状況を観察した。ここでは、根系から直接生立し、緑葉をつけた外見上健全なものを「青竹」と定義する。

2022年12月20日に行われた見本林剪定作業の際に見られた被穿孔主幹部分のうち、本種による穿孔を受けた青竹19節を採取して、節間長、節中央部直径、穿孔位置、内部状況(営巣状況)を調査した。本試験以前に、構内で青竹への台湾タケクマバチの穿孔行動が見られたこと、青竹に見られた穿孔の形状と大きさが実際に営巣を受けた主幹のものと同様であったことから、台湾タケクマバチによる穿孔であると判断した。営巣状況は、1)穿孔開始、2)穿孔完了、3)営巣開始、4)繁殖成功の4段階のどこまで進んでいたかを記録し、内部に昆虫が越冬していた場合、そのグループを記録した。ここでは、台湾タケクマバチ成虫が内部に侵入できるとみられる穿孔が起っていたものを穿孔完了、節内部に薄い隔壁の痕跡が見られたものを営巣開始、明確な隔壁の痕跡が見られたものを繁殖成功と判定した。比較対

象として、穿孔を受けた枯れ竹の主幹2本に関しても同様の調査を行った。枯れ竹のうち、明確な隔壁の痕跡が見られたものの、目視で、痕跡が退色しており、越冬成虫も見られなかったものがあり、これらは、前年以前に利用され、本年は利用されていないものと判断した。

結果は、Table 1 にまとめた。支所構内では定期的に竹見本林の剪定を行っていることから、これらの穿孔は、概ね2022年のシーズン中に起こったものと推測される。また、実際のデータはTable S1, S2 にまとめた。節間長は、青竹、枯れ竹で、それぞれ平均40.3 cm、32.5 cm、穿孔位置は、下から23.8 cm(節間長に対する節基底部からの距離の割合:58.7%)、12.4 cm(37.5%)となり、青竹の方が節間がやや長く、穿孔位置もやや節上部寄りになったが、中央部直径はそれぞれ21.8 mm、21.3 mmであり、大きな違いはなかった(Table 1A)。

穿孔の状況では、青竹では、1本の主幹の連続した節への穿孔は2例のみで、他は単独の節に対するものであった(Table 1B, Table S1)。また、穿孔が完了したもののうち2節では、節あたり2か所の穿孔が見られた。調査した19節のうち、18節では穿孔が完了していたが(Fig. 1)、1節は穿孔途中で放棄されていた(Fig. S1)。穿孔を完了した18節のうち、隔壁の痕跡が薄く見られたものは3節のみであり、いずれも営巣前、もしくは営巣開始直後に放棄されたとみられ、繁殖成功には至っていなかった(Table 1B)。内部の昆虫類では、穿孔完了後に放棄された1節に台湾タケクマバチ雌成虫1頭が越冬していた以外は、ドロバチ類前蛹、鱗翅目幼虫、ハリブトシリアゲアリ *Crematogaster matsumurai* Forel のコロニーが、それぞれ1節ずつに見られた。これらはすべて、二次利用者と考えられた(Table 1B, Fig. 2)。なお、ドロバチ類幼虫に関しては、ミトコンドリアDNAの一部を決定し(Accession number: LC757018)、GenBank 登録配列と比較したところ、オオフタオビドロバチ *Anterhynchium*

Boring of *Xylocopa tranquebarorum* into fresh bamboo  
Natsumi KANZAKI<sup>1)\*</sup>, Yuta FUJIMORI<sup>2)</sup> and Keiko HAMAGUCHI<sup>1)</sup>

原稿受付：令和5年2月7日 原稿受理：令和5年4月10日

1) 森林総合研究所 関西支所

2) 明治大学 農学部

\* 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: nkanzaki@ffpri.affrc.go.jp

Received 7 February 2023, Accepted 10 April 2023

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

2) School of Agriculture, Meiji University

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

**Table 1.** タイワンタケクマバチの穿孔を受けたホウライチクの各節内部の状態

A. 調査した節の平均値						
タケの状態	n	節間長 (cm)	節中央部 直径 (mm)	穴位置 <sup>2)</sup> (cm)	穴位置 <sup>3)</sup> (%)	備考
青竹	19	40.3 ± 5.5 (30–52)	21.8 ± 2.1 (17–27)	23.8 ± 7.8 (12–40)	58.7 ± 16 (37–98)	-
枯れ竹	17	32.5 ± 3.1 (27–38)	21.3 ± 3.7 (14–30)	12.4 ± 6.5 (3–31)	37.5 ± 18 (9–91)	-
B. 青竹の利用状況						
利用状況	n	節間長 (cm)	節中央部 直径 (mm)	穴位置 <sup>2)</sup> (cm)	穴位置 <sup>3)</sup> (%)	備考
穿孔中止	1	41	27	40	98	
穿孔完了	15	40.8 ± 6.0 (30–52)	21.7 ± 1.3 (19–23)	24.2 ± 6.8 (12–38)	59.3 ± 13 (37–86)	二次利用 <sup>4)</sup>
営巣開始	3	38.6 (35, 39, 42)	20.7 (17, 23, 22)	16.7 (13, 17, 20)	42.7 (37, 43, 47)	-
繁殖成功	0	-	-	-	-	
C. 枯れ竹の利用状況						
利用状況	n	節間長 (cm)	節中央部 直径 (mm)	穴位置 <sup>2)</sup> (cm)	穴位置 <sup>3)</sup> (%)	備考
穿孔後放棄	2	27, 29	14, 18	6, 11	22, 38	二次利用 <sup>5)</sup>
営巣開始 (= 繁殖成功) <sup>1)</sup>	15	33.2 ± 2.7 (28–38)	22.1 ± 3.1 (18–30)	12.9 ± 6.7 (3–31)	38.4 ± 19 (9–91)	二次利用、 越冬個体あり <sup>6)</sup>

数値は、mean ± SD (range) の形で示す。

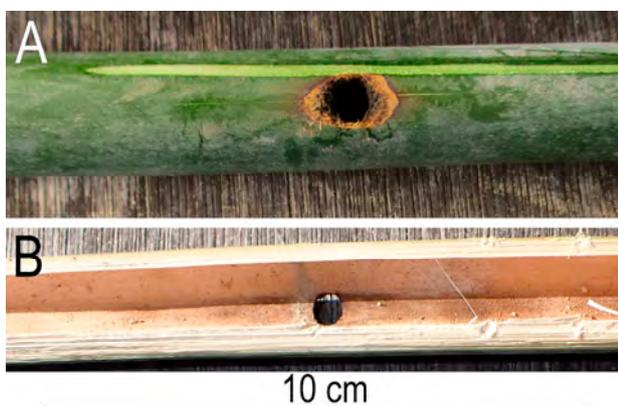
- 1) 枯れ竹では、営巣開始されたものはすべて、繁殖成功したものとみられた。
- 2) 節の基底部からの距離 (cm)
- 3) 節間長に対する節基底部からの距離の割合 (%)
- 4) 二次利用者として、タイワンタケクマバチ雌成虫越冬 1 個体、ドロバチ幼虫、鱗翅目幼虫、ハリプトシリアゲアリがそれぞれ異なる節から検出
- 5) 二次利用者として、クモ類、鱗翅目幼虫がそれぞれ異なる節から検出
- 6) 本年度営巣したものうち、12 節から平均 8 頭 (2–15 頭) のタイワンタケクマバチ越冬個体を検出。前年以前に営巣され、当年は利用されなかった 1 節からクモ類による二次利用を確認。

*flavomarginatum* (Smith) (AB969817, MT178404) と最近縁で、92% 程度の相同性を示した。これに対し、2 本の枯れ竹は、調査に用いた、連続したすべての節で穿孔が見られ、前年度以前の利用も含めると調査した 17 節のうち、穿孔完了後に放棄された 2 節を除き、15 節で明確な隔壁の痕跡に加えて、一部では越冬成虫が見られたため、繁殖成功に至っていたと判断された (Table 1C)。タイワンタ

ケクマバチの越冬が確認されたのは、12 節であり、平均越冬個体数は 8 (2–15) 頭であった (Table S2, Fig. S2)。また、タイワンタケクマバチ以外では、二次利用者として鱗翅目幼虫とクモ類が見られた。

以上から、タイワンタケクマバチは枯れ竹だけでなく、青竹も営巣場所として利用を試みるということが確認された。しかし、いずれも穿孔を行うのみで、繁殖成功は確認できず、青竹が利用可能な営巣資源であるとは考えられない。

関西支所構内の竹見本林で青竹への穿孔が起こった理由として、支所構内では枯れ竹にかなりの穿孔が見られるため、個体群密度の上昇による資源の枯渇などが考えられる。また、青竹においては、ほとんどが穿孔完了後に放棄されていたが、これは、青竹の節内部が枯れ竹に比べて湿度が高く、営巣環境として適切ではなかったということ、タケ類で知られる抗微生物活性 (大平 2017) が昆虫に対しても影響を与えた可能性が考えられる。しかし、これらに関しては実験的なデータは得られていないため、検証が必要である。さらに、青竹への穿孔がどの程度一般的にみられる現象であるかについても情報は



**Fig. 1.** 青竹へのタイワンタケクマバチの穿孔  
A: 表面、B: 内側

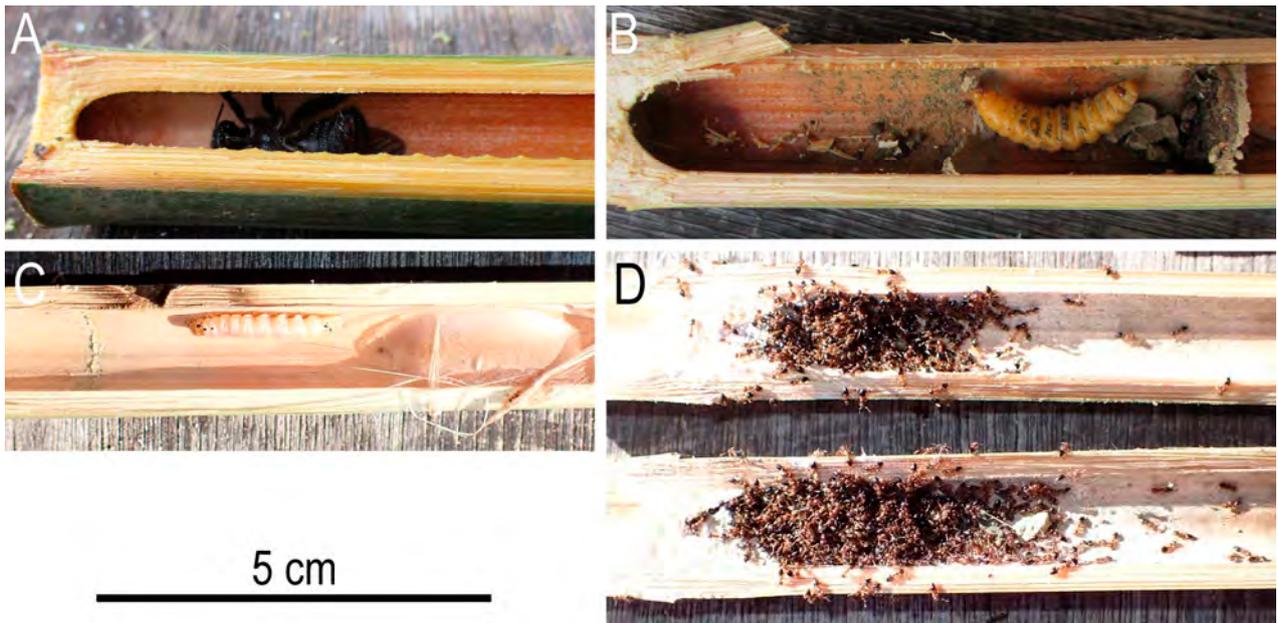


Fig. 2. 穿孔を受けた青竹内部の昆虫

A：台湾タケクマバチ雌成虫、B：オオフタオビドロバチもしくは近縁種の前蛹、C：鱗翅目幼虫、D：ハリブトシリアゲアリのコロニー

ないため、穿孔によるタケへの影響なども含め、今後の検証が必要である。

謝辞

本研究にあたり、試料採集を行っていただいた、森林総合研究所関西支所、楢山真司氏、青竹の抗生物活性に関して助言をいただいた、森林総合研究所関西支所、小林慧人博士、試料処理補助をしていただいた、森林総合研究所関西支所、島田善子氏に感謝する。

引用文献

大平 辰朗 (2017) 竹. 山林, 1594, 21-30.  
 Okabe, K., Masuya, H., Kawazoe, K. and Makino, S. (2010) Invasion pathway and potential risks of a bamboo-nesting carpenter bee, *Xylocopa tranquebarorum* (Hymenoptera: Apidae), and its micro-associated mite introduced into Japan. Appl. Entomol. Zool. 45, 329-337.  
 田埜 正・黒川 秀吉 (2017) 台湾タケクマバチ福井に住む (1) つねきばち, 31, 31-44.  
 山岸 健三・佐々木 隆行・加藤 真梨奈 (2018) 外来種台湾タケクマバチ (*Xylocopa tranquebarorum*) (ハチ目, ミツバチ上科) の日本における分布拡大と在来種への影響. 名城大学農学部学術報告, 54, 7-16.

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>

Fig. S1. 青竹への穿孔途中で放棄された巣穴

A：表面、B：内側

Fig. S2. 枯れ竹内部の台湾タケクマバチ越冬個体と隔壁の痕跡

A：割材時に得られた越冬成虫、B：節内部に形成された隔壁の痕跡

Table S1. 青竹

2022年12月20日に採取、調査したタケの節間長、節中央部直径、穿孔位置、内部状況. 穿孔位置は、節基部からの実際の距離 (cm) と節全体の長さに対するその距離の割合 (%) で示した。  
 1) 1節に2か所穿孔  
 2), 3) それぞれ連続した節

Table S2. 枯れ竹2本分

2022年12月20日に採取、調査したタケの節間長、節中央部直径、穿孔位置、内部状況. 穿孔位置は、節基部からの実際の距離 (cm) と節全体の長さに対するその距離の割合 (%) で示した。枯れ竹は2本を観察し、それぞれ No. 1 (1-9の9節)、No. 2 (1-8の8節) の番号を上部から付けた。  
 1) 1節に2か所穿孔



## 研究資料 (Research Record)

### 北海道支所実験林内の14成長期経過林分におけるシラカンバの年輪データ

伊東 宏樹<sup>1)\*</sup>、中西 敦史<sup>1)</sup>

#### 要旨

北海道支所実験林内のカンバ林において天然更新したシラカンバ12個体の主幹の年輪幅を測定し、機械可読な電子データとしてまとめた。標本とした幹は、発芽から14成長期を経過したものと考えられる。2019年5月に伐倒、根際0.3 mから1 mごとの高さで円盤を採取し、年輪読み取り装置を用いて各円盤について4方向で各年の年輪幅を測定した。年輪幅の増減のパターンは、4方向間で増減が一致した場合の数がランダムな条件を仮定した場合よりも多かった。最終的に、各幹各高さの各年における平均半径の値としてコンマ区切り形式のファイルに取りまとめた。また、各標本木について樹幹解析図を作成した。

キーワード：シラカンバ、成長、北海道、年輪データ、機械可読データ

#### はじめに

シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*) は、愛知・静岡を南限、福井・岐阜を西限として、これより北方に分布し(大住 2003)、北海道でも広く見られる。木材利用の面では大半がパルプ用材となっているが、最近では高付加価値の製品とすることも試みられている(石川 2018, 秋津・青木 2018)。

主要な更新場所は、大規模攪乱により生じた裸地(小山 2002)や、人為的な火入れ跡地(大住 2003)などである。地がき(かきおこし)による天然更新(伊東ら 2022)が期待できるが、更新後の保育手法についてはまだ確立されていない。

効果的な保育手法を検討するためには、初期成長の特性を把握することが必要となる。今回、伐採跡地に一斉更新したカンバ林において、シラカンバの年輪データを取得することができたので、電子データとして提供する。

#### 材料および方法

##### 標本の採取

年輪データは、森林総合研究所北海道支所実験林第4林班(42.9903°N, 141.3945°E)のカンバ林における間伐試験(伊東ら 2022)の際に取得した。北海道支所は札幌市中心市街地の南方に位置し、この試験林分の標高はおよそ160 mであった(Fig. 1)。北海道支所羊ヶ丘観測露場における2010~2019年(暦年)の年平均気温は7.1~8.1°C、年降水量は699~1179.5 mmの範囲にあった(森林総合研究所北海道支所 2010–2020)。この林分は、それまであった林分が2004年11月に皆伐された後に成立した。皆伐の際の地表攪乱がシラカンバの更新に好適な環境をもたらしたと考えられる。シラカンバは散布当年にも発芽する(小山

2002)が、伐採時期を考慮すると、本林分のシラカンバの多くは伐採翌年の2005年に一斉に発芽したものと考えられる。

この林分においては、2019年より間伐試験が実施された(伊東ら 2022)。この間伐試験のため、40 m × 40 mの試験区が設定され、さらに試験区中に15 m × 15 mの方形区が4箇所設定された。試験区はほぼ平坦であったが、一部の方形区では土地条件により他よりも成長が悪かった可能性がある(伊東ら 2022)。4方形区での、胸高(1.3 m)以上の立木密度(幹密度)は全樹種で8289本/ha、シラカンバのみについては7889本/haだった。

間伐作業は2019年5月27日に実施された。このときに伐倒された樹幹から、サイズの偏りを避けるように12個体の標本木を選定した。標本木は、伐倒後に樹高と枝下高を測定し、根際0.3 mから1 mごとの高さ(1.3 m, 2.3 m,...)で円盤を採取した。各標本木の樹高および生枝下高をTable 1に示す。標本木の樹高は6.5 mから12.6 mの範囲で



Fig. 1. 北海道支所実験林に設定した試験林分の位置図  
この図は、地理院タイル(国土地理院)を加工して作成した。

原稿受付：令和4年9月21日 原稿受理：令和5年1月31日

1) 森林総合研究所 北海道支所

\* 森林総合研究所 北海道支所 〒062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘7、E-mail: hiroki@affrc.go.jp

Table 1. 標本木の概要

標本木番号	樹高 (m)	生枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	高さ 0.3m における年輪数
1	9.0	5.8	4.7	12
2	8.9	4.7	6.2	12
3	8.3	2.8	5.6	11
4	10.3	5.3	7.0	12
5	9.5	4.3	7.6	12
6	10.8	4.5	8.4	12
7	10.6	4.1	8.6	11
8	10.6	3.0	9.1	13
9	10.7	4.0	10.4	13
10	12.6	5.4	12.1	13
11	6.5	4.0	2.8	11
12	7.1	4.3	3.7	11

あった。

### 測定

2019年の成長期のごく初期に伐採したため、2018年に形成された年輪までを測定した。2005年に発芽した個体については14成長期が経過していることになる。ただし、シラカンバの当年生実生は小さいため、最初の成長期の年輪は高さ0.3 mで採取した標本にも含まれていないと考えられる。各円盤上で、年輪の中心を通る最も長い線分と、それと直交し年輪の中心を通る線分で示される、中心からの4方向について、中心から各年輪外縁までの距離を測定した (Photo 1)。このとき、年輪が読み取りにくい場合には、彫刻刀で断面を切削して、年輪を読み取りやすいようにした。また、高さ1.3 mの円盤について、中心から外樹皮までの距離を同様に測定し、測定値を平均して胸高直径の値とした。

測定には、年輪読み取り装置 (Walesch Electronic社製 DENDROTAB 2003, Photo 2) を使用した。この年輪読み取り装置の測定精度は0.005 mmであるが、データは4方向の測定値を平均したうえで、0.1 mm精度に丸めた。年輪の確認には実体顕微鏡 (オリンパス社SZ61) を使用した。

各標本木について、胸高直径の値と、高さ0.3 mの円盤

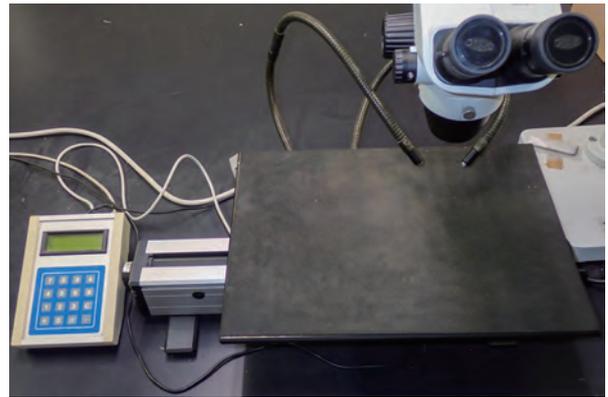


Photo 2. 使用した年輪読み取り装置 (Walesch Electronic 社製 DENDROTAB 2003)

における年輪数をTable 1に示した。また、個体内の4つの測定方向間における各年の年輪幅の増減の一致を検討するため、4方向での年輪の増減パターンを集計した。具体的には、各年について、前年と比べて年輪幅成長が大きい (増) か、あるいは小さい (減) かを、4方向それぞれについて調べた (前年との測定値が同一であった場合は便宜的に「増」に含めた)。次に、増減が一致する比が“4:0”、“3:1”、“2:2”のいずれのパターンになるか (例えば、増が4方向、減が0方向であれば、“4:0”、増が1方向、減が3方向であれば、“3:1”とする) を求めた。そして、それぞれのパターンの年の数を標本木ごとに集計した。

さらに、個体間の年輪幅の変動パターンを検討するため、高さ0.3 mにおける年輪幅 (4方向の平均値) の年変化を標本木ごとにまとめ、比較した。また、各標本木について樹幹解析図を作成した。

### 結果および考察

4方向の年輪幅の増減の一致状況を各標本木について、全年輪幅データ (全検証高さにおける全成長年の年輪幅) に渡ってまとめたものをTable 2に示した。“4:0”は4方向で、“3:1”は3方向で、“2:2”は2方向でそれぞれ増減が一



Photo 1. 左: 測定した円盤の例 (標本木9、高さ1.3 m)。右: その円盤の拡大写真

Table 2. 4方向での年輪幅の増減パターンの出現回数

標本木番号	パターン		
	4:0	3:1	2:2
1	20	14	11
2	20	9	18
3	13	18	10
4	24	22	13
5	23	19	8
6	23	18	18
7	22	26	7
8	27	20	13
9	27	23	10
10	32	31	15
11	17	11	5
12	14	13	9

致した数 (年数) を示す。増減の割合がともに1/2で、4方向が独立に増減すると仮定すると、“4:0”、“3:1”、“2:2”の3パターンの割合は理論的にはそれぞれ1/8、1/2、3/8となる。いずれの標本木でも、4方向ですべて増減が一致した“4:0”のパターンが、増減の割合1/2かつ独立した増減を仮定した場合よりも多かった。

高さ0.3 mにおける年輪幅 (4方向の平均値) の変動パターンを各標本木についてまとめたものをFig. 2に示した。また、各標本木についての樹幹解析図をFig. 3に示した。年輪幅の変動をみると、2010～2012年ごろに肥大成長が増加するものが多かったが、これにあてはまらないものもあった (標本木11など)。また樹幹解析図をみると、標本木1では2013年に急速な樹高成長が見られた。ただしこれは、2012年の (樹高 - 2.3 m):(高さ2.3 mの半径)の比が、2013年の (樹高 - 4.3 m):(高さ4.3 mの半径)の比と同じであるとして、2012年の樹高を推定したことによるものであり、2012年の樹高は実際にはもっと高かった可能性がある (ただし、年輪解析の結果から、樹高3.3 mを超えたのは2013年の成長期であることがわかるので、2012年の樹高は最大でも3.3 mとなる)。

データ

データ構造

データは、補足電子資料Table\_S1にまとめた。ファイ

ルはコンマ区切り (Comma-separated Values; CSV) 形式のテキストファイルであり、機械可読である。文字コードはUS-ASCII、改行コードはLFで、ファイルの1行目がフィールド名、2行目以降がデータの値となっている。データの構造はTable 3のとおりである。

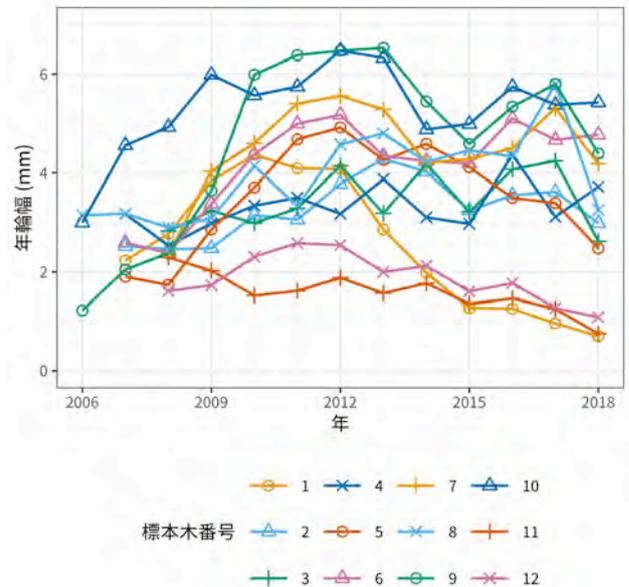


Fig. 2. 高さ 0.3 m における各標本木の年輪幅の変動パターン

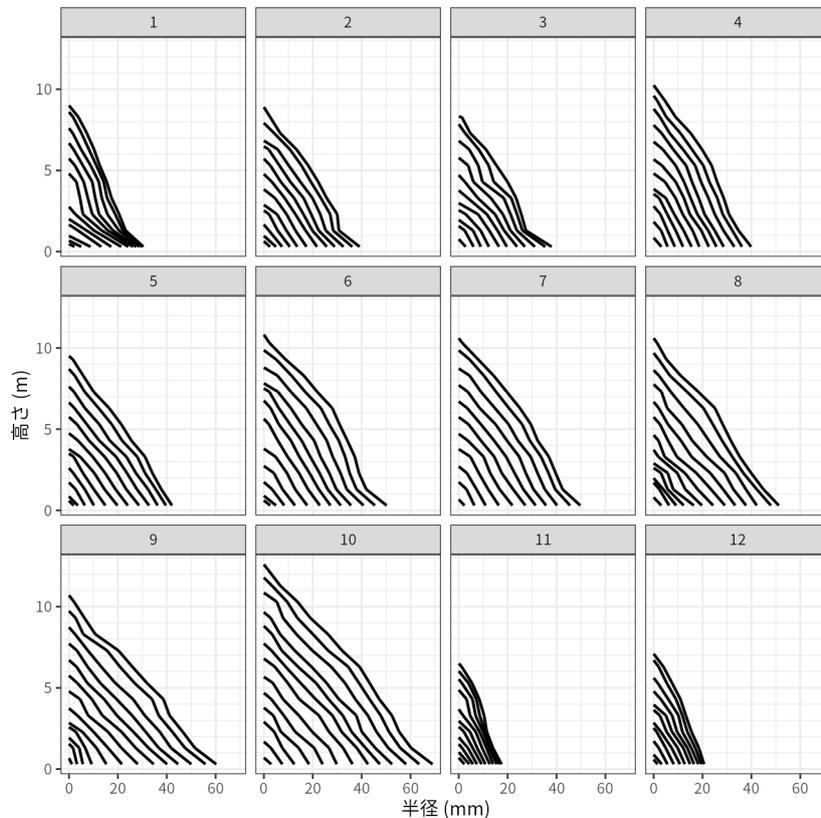


Fig. 3. 各標本木の樹幹解析図

番号は標本木番号。樹幹解析図のもっとも外の線が2018年のものである。

Table 3. データの構造

フィールド名	説明	単位	精度
Tree	標本木番号		
Height	円盤採取高	m	0.1 m
Year	当該年輪が形成された年		
Radius	中心から当該年輪外縁までの距離 の4方向の平均	mm	0.1 mm

## 利用条件

本データは出典元明記を条件に自由に利用できます。

## 謝辞

このデータは、森林総合研究所交付金プロジェクト「天然更新による低コストカンバ施業システムの開発」(課題番号201903)により取得しました。

## 引用文献

- 秋津 浩志・青木 繁尚 (2018) シラカンバ材の高度利用. 北方林業, 69, 116–119.
- 石川 佳生 (2018) シラカンバ材の高付加価値用途への利用可能性について. 北方林業, 69, 108–111.
- 伊東 宏樹・中西 敦史・津山 幾太郎・関 剛・菊地 賢・石橋 聡 (2022) トドマツ人工林主伐後のカンバ類天然更新一恵庭市における地がき実施後5年目の状況一. 北森研, 70, 31–34.
- 伊東 宏樹・関 剛・中西 敦史 (2022) シラカンバ若齢一斉林の間伐試験. 北の森だより, 28, 4–5.
- 小山 浩正 (2002) シラカンバの発芽フェノロジーと適応戦略としての意義. 北海道林業試験場研究報告, 39, 1–38.
- 大住 克博 (2003) シラカンバの分布限界について考える. 森林科学, 39, 62–67.
- 森林総合研究所北海道支所 (2010–2020) 森林総合研究所北海道支所年報各年版.

## 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. 北海道支所実験林のシラカンバ年輪データ

## Tree growth ring data of *Betula platyphylla* var. *japonica* obtained in a 14-year-old stand at the experimental forest of the Hokkaido Research Center, FFPRI

Hiroki ITÔ<sup>1)\*</sup> and Atsushi NAKANISHI<sup>1)</sup>

### Abstract

The widths of tree growth rings of the main stems of 12 *Betula platyphylla* var. *japonica* individuals that were naturally regenerated in a birch stand at the Hokkaido Research Center were measured and converted to a machine-readable data format. The sampled stems should have grown over 14 growing seasons. The individuals were felled in May 2019, and disks were sampled at 1-m intervals from a height of 0.3 m above the ground. The ring widths for every year were measured in four directions for each disk using a ring-measuring instrument. The number of cases where year-to-year change patterns in the ring widths were the same among the four examined directions was more than expected under the random condition. Finally, the data were assembled and saved as a comma-separated values file containing values for the mean radius of each stem, year, and height. In addition, stem analysis diagrams were drawn for each sampled stem.

**Key words :** *Betula platyphylla* var. *japonica*, growth, Hokkaido, tree growth ring, machine-readable data

---

Received 21 September 2022, Accepted 31 January 2023

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

\* Hokkaido Research Center, FFPRI, 7 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516 JAPAN; E-mail: hiroki@affrc.go.jp



## 研究資料 (Research Record)

# 徳島県「大里松原」海岸林におけるクスノキ成木の30年間の肥大成長過程 —隣接個体と気象条件の影響—

大谷 達也<sup>1)\*</sup>

### 要旨

海岸林に植栽された広葉樹の長期にわたる成長過程を解明するため、徳島県海陽町の大里松原において高潮で枯れ伐倒処理されたクスノキ8本の年輪解析をおこなった。地上高0.3 mで円盤を採取し東西南北4方向の毎年の年輪幅を測定した。31年から37年の年輪を数えることができ、年輪幅の個体ごとの平均値は $5.5 \pm 2.6$  mmから $12.0 \pm 4.6$  mm、全体の平均値は $9.4 \pm 4.1$  mmであった ( $\pm$ sd)。地上高0.3 mと胸高の直径の比率から、8本のクスノキは30年間で胸高直径 $47.3 \pm 9.6$  cmに達したと推定された。これらのクスノキは最近隣個体までの距離が平均5.2 mと疎な環境で生育したため、旺盛な肥大成長を示したと考えられた。

キーワード：個体間距離、肥大成長、年輪解析、台風

### 1. はじめに

2011年東日本大震災を含め過去の津波災害の事例から、海岸林が津波に対して水流の減衰や浸水域の縮減といった一定の減災効果をもつことが示され (Tanaka et al. 2013, 佐々木ら 2013)、津波対策の多重防御のひとつとして海岸林を活用することが提案されている (大平ら 2016)。そのため、近い将来に発生が予測されている南海トラフ地震 (内閣府 2022) に備えて、西日本の太平洋岸では既存の海岸林を健全に保ち減災機能を高めておくことが望まれる。一方、これまでにクロマツを主体として整備されてきた日本の海岸林は、生活様式の変容やマツ材線虫病の蔓延で傷んでいる場合も多い。そのような状況において、Eco-DRRやグリーンインフラといった考え方も提唱され (一ノ瀬 2015)、広葉樹を海岸林に導入することが模索されている (中島 2021)。

しかし、クロマツに比べて広葉樹を海岸林に植栽した事例は少なく、海岸林における広葉樹の成長過程を数十年におよぶ長期データから実証した例も少ない (例えば、金子・田村 2007, 山口・中田 2008)。およそ100年から200年ごとに繰り返して起こることが知られる南海トラフ巨大地震は、過去に西日本の太平洋岸に広く津波被害をもたらしており (石橋 2014)、2023年時点で前回発災からすでに77年あるいは79年が経過した。近い将来に起こり得る巨大地震による津波に備えて海岸林を整備するならば、広葉樹の植栽木が20年から30年ほどの時間でどれほどの大きさに育ちうるのかという情報は有意義だろう。

徳島県海陽町の大里松原では、2019年10月に台風19号が沖合を通過することによって高潮が発生して、海寄り半分の立木が大規模に枯死し (前岡ら 2021, 大谷 2021)、

枯死木はその後には伐倒処理された。処理木には1980年代に植栽されたクスノキ (海南町史編さん委員会 1995) が含まれると考え、海岸林に植栽された常緑広葉樹の年輪解析のための円盤サンプルを得た。そこで、海岸林に植栽されたクスノキの成長過程の実例として、肥大成長と気象要因の関係や30年間で到達しうる胸高直径について報告する。このような情報は、海岸林の再生が急がれる大里松原にとっても重要であろう。

### 2. 材料と方法

大里松原は徳島県海部郡海陽町にあり、長さ約2 km、林帯幅約120 mで南東向きに海に面している (北緯 $33^{\circ}36'36''$ 、東経 $134^{\circ}22'14''$ )。四国東部の太平洋岸では礫浜が多く (須藤・有田 2006)、大里松原は直径数cm以上の大きな円礫を含む砂礫上に成立している。大里松原から西へ1.6 kmに位置する気象庁海陽観測所によれば、年間降水量 $3178.2$  mm、年平均気温 $16.5^{\circ}\text{C}$ である (2009年から2019年の平均値、気象庁 2023)。大里松原はかつてクロマツで構成されていたが、マツ材線虫病によるクロマツ枯損に対応して1985年からの3年間でクスノキ・タブノキ・ケヤキ・アカシア・ヤマモモが部分的に植えられた (海南町史編さん委員会 1995)。その後はクスノキが大きく成長し、2018年の毎木調査による胸高断面積合計の割合では、クロマツ38%、クスノキ47%、ヤマモモ9%、ケヤキ5%、およびエノキ0.5%となっており (大谷 未発表)、海寄りではクロマツ、内陸寄りではクスノキがおもに樹林を構成していた。2019年10月の台風19号が沖合を通過した際に高潮が発生し、海岸林の半分にあたる約12 haが24時間以上にわたって冠水した (前岡ら 2021, 大谷 2021, 斎藤 私

原稿受付：令和5年1月23日 原稿受理：令和5年3月29日

<sup>1)</sup> 森林総合研究所 四国支所

\* 森林総合研究所 四国支所 〒780-8077 高知市朝倉西町 2-915、E-mail: tatsuyao@affrc.go.jp

信)。その後、クスノキは速やかに葉を落とし枯死するとみられたが、一部には胴吹きする個体もあったため、萌芽再生することを期待して2020年の秋期に地上高1.0 mから1.5 mの幹を残して伐倒された。しかし、胴吹きした枝葉も数ヶ月以内に枯れ、個体として完全に枯れたと判断された。

本報告での試料採取にあたっては、このような地上高1.0 mから1.5 mで伐倒された後に完全に枯死した切り株を、地上高0.3 mで再び水平に伐って円盤を採取した。2022年7月、9月、および12月に順次3本、2本、および3本と計8個体の円盤を採取した。この8本のクスノキは互いに3.5 mから19 mの距離をおいており、いずれも海岸林の海寄り最前線から70 mから80 m、内陸側の海岸林後端からは30 mから40 mの場所にあった。採取した円盤を室内で約1ヶ月間風乾させた後、紙やすりで磨き東西南北の4方向についてスケールルーペ (Peakルーペ10×、No. S) を使って毎年の年輪幅を0.1 mm単位で計測した。完全な個体死ののち1年半から2年後に円盤を採取したと考えられたが、いずれの円盤でも材は腐朽しておらず年輪を鮮明に読み取ることができた。

地上高0.3 mでの直径 (D0.3) を胸高直径 (DBH) に換算するため、円盤を採取した切り株の内陸側に生育するクスノキ20本について、地上高0.3 mと胸高での幹周囲長をスチールメジャーで測定し、その比率を算出した。隣接個体が成長におよぼす影響を検討するため、円盤を採取した個体を含めて周辺木の個体間距離をレーザー距離計 (Leica Disto D210) で測定した。過去の気象条件と肥大成長との関係を検討するため、気象庁webページから日和佐観測所での観測値を得た (大里松原から北東へ20.4 km、大里松原と同様に南東向きに海に面した場所)。なお、大里松原に最寄りの気象観測所は海陽観測所であるが、ここは2009年開設のため、後述のとおり円盤を採取したクスノキが植栽されたと考えられた1980年代からの気象データを得るため日和佐観測所を選択した。過去に四国に接近した台風を気象庁webページで、大里松原の50 km以内に接近した台風を「デジタル台風」 (北本 2022) で検索した。

統計解析にはR 4.2.1 (R Core Team 2022) を使用し、各個体の毎年の年輪幅について経時変化の傾向をみるためにスプライン平滑化をおこなった (mgcvパッケージのgamおよびs関数)。

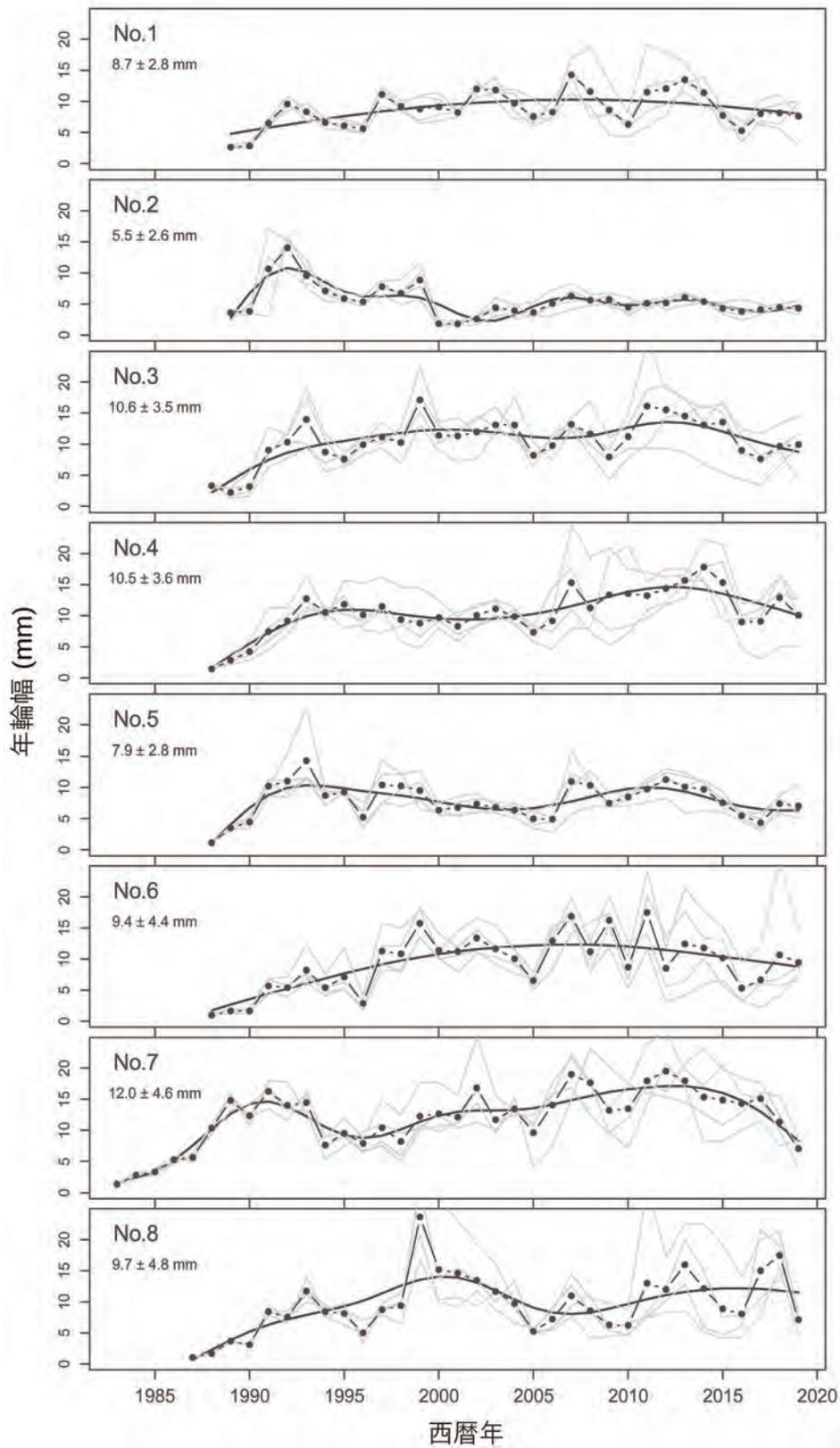
### 3. 結果と考察

8個体の円盤のもっとも外側を2019年の成長として年輪を数え、Fig. 1には毎年の年輪幅を2019年からさかのぼって個体ごとに示した。No. 7のみ37年、残り7個体は31年から33年の年輪を数えることができた。すなわち、1983年、および1987年から1989年にD0.3が数mmになっており、「海南町史 (下巻)」 (海南町史編さん委員会 1995) にあるように1985年からの3年間にクスノキを含む広葉樹を

植えたとする記述と合致する。ただしNo. 7のみ1985年以前に発生しており、海南町史の記録よりも早くに植栽されたか、自然に定着したものと考えられる。いずれの個体も最初の数年間は数mmの年輪幅であるが、6年が経過するまでには10 mm前後の年輪幅を示した。その後、スプライン平滑化で示された変化の傾向は各個体で異なっており、No. 2は初期には旺盛な成長を示したものの、2000年以降は年輪幅が減少したままで、生育期間を通じた年輪幅の平均値は8個体の中で最も小さく $5.5 \pm 2.6$  mm (平均  $\pm$  sd) となった。No. 1や6では期間の前半は年輪幅の増加、後半には減少傾向を示し、年輪幅の平均値は順に $8.7 \pm 2.8$  mmおよび $9.4 \pm 4.4$  mmだった。残りの5個体では初期には年輪幅が急速に増加したのち、減少と再びの増加を示した。個体ごとの年輪幅の平均値ではNo. 7が $12.0 \pm 4.6$  mmともっとも大きく、次いでNo. 3と4が順に $10.6 \pm 3.5$  mmと $10.5 \pm 3.6$  mmとなった。8個体すべての年輪幅の平均値は $9.4 \pm 4.1$  mm (n = 260) であった。なお、No. 8の1999年の年輪幅が20 mmを超える大きな値となったが、樹幹の測定部位に傷があり、これを巻き込むための特異的な肥大成長が原因である。

8個体のクスノキそれぞれの最近隣個体はいずれもクスノキであり、最近隣個体までの距離は $5.2 \pm 2.5$  m (n = 8) であった。最近隣個体以外の周辺木も含めた個体間距離は $8.5 \pm 4.4$  m (n = 22) であった。No. 2はNo. 4と近接しており個体間の距離は3.5 mだった。このため、No. 2はNo. 4からの被圧により成長量が減少したと推察された。No. 1と5も別のクスノキがそれぞれ2.3 mと2.8 mの距離にあったが、自身よりも小個体であったため成長量の低下は軽微だったと考えられた。

各年の年輪幅の経時変化をみると、2005年の成長量は前年までの成長量やスプライン平滑化で示された傾向に比べて、すべての個体で共通して小さかった (Fig. 1)。過去の気象条件をみると、2004年には四国に接近した台風が9個、そのうち大里松原の50 km以内に接近した台風が5個と、四国および大里松原に接近した台風が特異的に多かった (Fig. 2a)。月ごとの最大風速でも2004年6月から10月まで毎月20 m/s前後の値を記録しており、ほかの年にはない特徴である (Fig. 2b)。2004年には台風4号、6号、11号、21号、および23号が大里松原の50 km以内を通過したが、11号以外の4個が高知県東部の室戸市や安芸市に上陸し大里松原の内陸側をおおむね北東方向に進んだ。台風がこのような進路をとると大里松原には塩分を含んだ海風が強く吹くことになるので、繰り返しの台風の襲来で樹冠が傷んだと推察される。さらに、2005年には年間降水量、6~8月夏季降水量ともに図示した37年間で最低値を示しており (Fig. 2c, d)、前年の台風で樹冠が傷んだことに加えて当年成長期の水分条件が厳しかったことによっても、2005年の成長量が低下したと推察された。そのほかの年では、1994年から1996年、2009年から2010年、および2015年から2017年の3期間においても、それ



**Fig. 1.** 大里松原海岸林に生育していたクスノキ 8 個体の年輪幅の経時変化  
 8 個体のそれぞれについて、東西南北 4 方向の年輪幅 (灰色折れ線)、その  
 平均値 (黒丸および黒折れ線)、およびスプライン平滑化のあてはめ (黒曲線)  
 を示した。台風の高潮で枯死した 2019 年からさかのぼって描画した。各グ  
 ラフの左上には、個体番号、および年輪幅の平均値と sd を示した。

ぞれ5個体あるいは6個体が成長量低下の傾向を示している (Fig. 1)。2014年には2個 (11号および19号)、2015年には1個 (11号) の台風が前述と似た進路をとり、2014年8月には22.9 m/s、2015年7月には29.7 m/sの最大風速を記録している (Fig. 2b)、大里松原も強い海風を受けたと考えられる。しかし、1993年と1994年には順に台風14号と26号が紀伊半島に上陸したものの、1995年前後や2009年前後には前述のような進路をとった台風はなかったので、クスノキの成長量低下を招いた主要な原因は台風以外にあるものと推察された。1994年夏季には、四国を含め全国的に記録的小雨となり農林業被害を招いた (小谷1996)。日和佐観測所では1994年夏季が記録的小雨とはいえないものの1994年から3年間は夏季小雨の傾向が続いており (Fig. 2d)、No. 3、5、7、および8の1994年からの成長量低下に影響したかも知れない。一方、2008年と2009年には大里松原に接近した台風はなく夏季の小雨も認められない (Fig. 2a, d)、No. 1、3、5、7、および8の2009年の成長量低下については台風や小雨以外の要因が考えられる。

円盤を採取した枯死木の周辺に生残するクスノキ20本 (DBH  $42.6 \pm 7.9$  cm) について、D0.3とDBHの比率を算出したところ、 $DBH/D0.3 = 0.857 \pm 0.03$ となった。これによりクスノキ枯死木の各年のD0.3からDBHを推定し、経

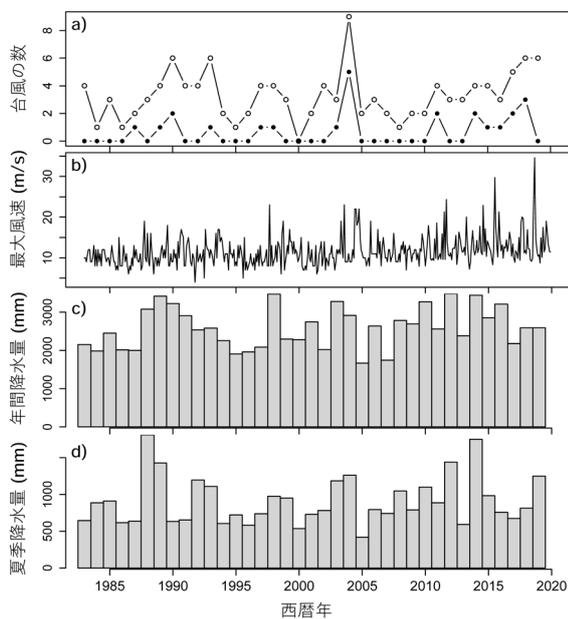


Fig. 2. 1983年から2019年までの徳島県南部における台風、強風、および降水の状況

a) 四国および大里松原に接近した年ごとの台風の数 (順に白丸および黒丸)、b) 月ごとの最大風速 (m/s)、c) 年間降水量 (mm)、d) 各年の6月から8月までの降水量 (mm)。a) において四国に接近とは四国4県内のいずれかの気象官署等の300 km以内を、大里松原に接近とは大里松原の50 km以内を台風が通過したことをさす。b) から d) については気象庁日和佐気象観測所での記録による。

年変化を示すとFig. 3のようになった。30年間で到達するDBHをみれば、No. 2は28.6 cmと最小値、No. 7は59.7 cmと最大値を示し、平均 $47.3 \pm 9.6$  cm ( $n = 8$ )となった。同様に20年では $29.3 \pm 4.5$  cm、10年では $12.4 \pm 2.1$  cmとなった。地上高0.3 mでの平均年輪幅9.4 mmをDBHの増加速度に換算すると、16.1 mm/年になった。クスノキの肥大成長については、神奈川県湯河原町で樟脳生産を目的に造成された74年生林分の記録があり、DBHの増加速度6.1 mm/年、30年間でDBH 19.0 cmと報告されている (中川1985)。この林分では個体間の距離は約3 mとなっており、これに比べて、円盤を解析した大里松原のクスノキは個体間距離5.2 mまたは8.5 mと疎な環境で生育したといえる。大里松原のクスノキは海岸林の内陸寄りで個体間距離を十分にとって生育したため、砂礫上であっても旺盛な肥大成長を示したと考えられ、今後の植栽事業においてもクスノキを適切に植栽すれば20年から30年程度の期間で海岸林としての機能を発揮できるサイズにまで成長することが期待される。ただし、上陸津波を想定した水流減衰効果のシミュレーションでは、林齢が高くなることで樹木が大径化して立木密度が下がった場合、中径木が高密度で生育する状態よりも効果は低下するという結果が示されている (浅野ら2014)。そのため、海岸林の内陸寄りにクスノキを植栽して単木の旺盛な成長を期待する際には、津波への減災効果を視野に入れ植栽間隔を慎重に検討する必要がある。

### 謝辞

試料の採取にあたり大里自治会の協力を得た。とくに齋藤正氏には台風被害の情報を提供いただいた。この調

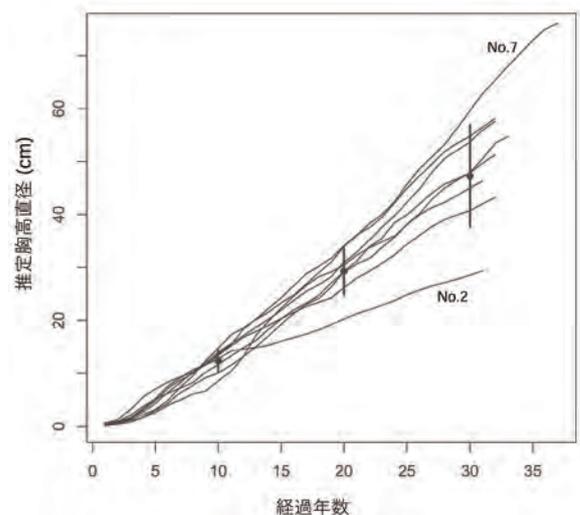


Fig. 3. 大里松原海岸林におけるクスノキの胸高直径成長過程の推定

8個体のクスノキについて地上高0.3 mの年輪幅から算出した直径を胸高直径に換算した。10年目、20年目、および30年目の胸高直径推定値の平均とsdを示した。

査には森林総合研究所「産学官地域連携推進費」を充てた。

#### 引用文献

- 浅野 敏之・永山 裕也・松尾 俊平 (2014) 海岸林の時間的生長を考慮した津波減衰効果に関する数値解析. 土木学会論文集B2(海岸工学), 70, I\_1206-I\_1210.
- 一ノ瀬 友博 (2015) 人口減少時代の農村グリーンインフラストラクチャーによる防災・減災. 農村計画学会誌, 34, 353-356.
- 石橋 克彦 (2014) 南海トラフ巨大地震. 岩波書店, 260pp.
- 海南町史編さん委員会 (1995) 海南町史 (下巻). 徳島県海部郡海南町, 1411pp.
- 金子 智紀・田村 浩喜 (2007) 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発. 秋田県森林技術センター研究報告, 17, 37-60.
- 気象庁 (2023) “過去の気象データ・ダウンロード”, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, (参照2023-1-10).
- 北本 朝展 (2022) “デジタル台風：台風画像と台風情報”, <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>, (参照2023-1-9).
- 小谷 英司 (1996) 1994年夏季少雨が年輪成長に与えた影響. 四国情報, 16, 2.
- 前岡 夏槻・岡 浩平・山中 亮一・鎌田 磨人・吉崎 真司 (2021) 高潮による海水浸漬を受けた海岸林における樹種別の応答の比較. 日本緑化工学会誌, 47, 111-116.
- 内閣府 (2022) “南海トラフ地震対策”, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html>, (参照2023-1-9).
- 中川 重年 (1985) 湯河原町鍛冶屋のクスノキ林の成長. 神奈川県林業試験場研究報告, 11, 11-18.
- 中島 有美子 (2021) 海岸林の広葉樹の評価と導入の可能性. 日本緑化工学会誌, 47, 240-244.
- 大平 浩之・林 晃大・山下 啓・今村 文彦 (2016) 宮城県岩沼市における海岸林を活用した多重防御の津波被害軽減効果. 土木学会論文集B2(海岸工学), 72(2), I\_1459-I\_1464.
- 大谷 達也 (2021) 台風による砂礫堆積物へのクロマツコンテナ苗植栽における園芸培土混入の有効性. 日本森林学会誌, 103, 361-366.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 斎藤 正, 海陽町, 私信.
- 佐々木 寧・田中 規夫・坂本 知己 (2013) 津波と海岸林—バイオシールドの減災効果—. 共立出版, 232pp.
- 須藤 定久・有田 正史 (2006) 砂と浜の地域誌 (9) 室戸岬から甲浦・穴喰を訪ねる. 地質ニュース, 623, 55-64.
- Tanaka, N., Yagisawa, J. and Yasuda, S. (2013) Breaking pattern and critical breaking condition of Japanese pine trees on coastal sand dunes in huge tsunami caused by Great East Japan Earthquake. Nat Hazards, 65, 423-442.
- 山口 友平・中田 誠 (2008) 市街地に隣接した海岸クロマツ林における常緑広葉樹の侵入と成長—新潟県新潟市の事例—. 海岸林学会誌, 7, 7-15.

## The thickening growth process of *Cinnamomum camphora* trees during 30 years in Ozato coastal forest, Tokushima, Shikoku Island—effects of the nearest neighbor and climate conditions—

Tatsuya OTANI<sup>1)\*</sup>

### Abstract

Tree-ring analysis was performed for eight *Cinnamomum camphora* trees dead and fell after a typhoon storm surge at Ozato Matsubara coastal forest, Tokushima Prefecture, western Japan, to analyze the long-term growth process of broad-leaved trees planted in coastal forests. Tree-ring width in all four directions of the compass was determined on disk samples at 0.3 m ground height. Tree rings of 31 to 37 years were counted, and the mean tree-ring width of each individual ranged from  $5.5 \pm 2.6$  mm to  $12.0 \pm 4.6$  mm with an overall mean of  $9.4 \pm 4.1$  mm ( $\pm$ sd). The diameter at breast height was determined to reach  $47.3 \pm 9.6$  cm within 30 years of the establishment, by using the ratio of diameters at 0.3 m and breast height. The sparse planting interval of 5.2 m to the nearest neighbor was causally associated with the quick thickening growth of the *C. camphora* trees.

**Key words :** planting interval, thickening growth, tree ring analysis, typhoon

---

Received 23 January 2023, Accepted 29 March 2023

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

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

森林総合研究所研究報告 第22巻2号, 2023

## 研究資料 (Research Record)

# 竜ノ口山森林理水試験地観測報告 (2011年1月～2015年12月)

細田 育広<sup>1)\*</sup>

### 要旨

森林総合研究所関西支所の竜ノ口山森林理水試験地(北緯34°42′、東経133°58′)における2011～2015年の降水量と流出水量の観測結果をとりまとめた。当試験地は瀬戸内海式気候下に位置し、南谷と北谷の二流域で構成される。流域の大部分は古生層、北谷右岸と両谷最下流部は石英斑岩などの火成岩を基岩とする。1981～2010年の年降水量の平均値(平年値)は1181.2 mmである。月平年値を積算して求めた年流出水量の平年値は南谷355.1 mm、北谷353.8 mmである。本報期間において、植生の分布は2010年と変わらないが、南谷中流左岸の2006年植栽木の成長は著しかった。年降水量は、1年置きに平年値付近とそれを250 mm以上上回る変動を繰り返し、平均1355.8 mmとなった。特に、2011年は台風12号(TALAS)と15号(ROKE)、2013年は梅雨前線と台風17号(TORAJI)などの影響で降水量の多い年になった。2013年2月末に北谷で、2014年2月中頃に南谷で量水堰堤の浚渫をおこなった。浚渫中の流出水量は、推定値を示した。推定値を含めた年流出水量の平均値は、南谷395.7 mm、北谷499.9 mm、平均年流出率は、南谷29.2%、北谷36.9%であった。

キーワード：日流出量、日降水量、並列流域、古生層付加体、温暖寡雨気候

### 1. はじめに

旭川下流岡山平野北東縁に位置する森林総合研究所関西支所の竜ノ口山森林理水試験地(以降、竜ノ口山)における2011～2015年(以降、本報期間)の降水量と流出水量の観測結果をここにとりまとめた。本報期間においては、2011年9月初頭に台風12号(TALAS)による深層崩壊を伴う紀伊半島大水害、2012年7月中旬に線状降雨帯が次々と流れ込んだ九州北部豪雨、2013年9月中旬に同年運用開始後初の大雨特別警報が発令された台風18号(MANYI)、2014年8月に広島市で土石流が多発した前線と台風11号(HALONG)による豪雨、2015年9月10日前後に常総市で鬼怒川の堤防決壊を伴った関東・東北豪雨など、大きな気象災害が連続した(気象庁 2022c)。2011年3月の東北地方太平洋沖地震(気象庁 2022a)を契機として、国内では自然災害に対する意識に大きな変化が生じたと思われるが、これらの大きな気象災害が続いたことで、日本列島の立地や気候変動に対する社会の関心はより深まった感がある。こうした経過の中で、水循環基本法(内閣官房水循環政策本部事務局 2022)が2014年7月1日に施行された。縦割りの水行政の連携を図り、健全な水循環の維持・回復を目指すこととなった画期的な出来事であり、2021年には国や流域自治体、企業・住民等、上下流・本支川のあらゆる関係者が協働して取り組む「流域治水」関連法(国土交通省 2022)の成立に結びついている。この行政上の一連の流れの起点は、地球規模化する環境問題に対応した1993年の環境基本法制定に遡るようである(一方井 2014)。

ところで国内の歴史を振り返れば、7世紀頃から流域保全のための禁伐令がたびたび出され(農林省編 1934, 丸山 1994)、さらに戦国時代を経て17世紀には諸国山川掟が発布されて、下流域保全のため上流域森林を守ることが明確化した(太田 2012a)。この上下流連携の治水思想は、1889(明治24)年5月の「水源涵養法施行緊急の主意」(デレーケ 1891)においても強く指摘されている。それが近代において生かされたのは、1910(明治43)年の東日本大水害を契機に大蔵省が原案を作成した第1次治水計画が最初であろう(松浦 2008)。その後も大きな水害を切っ掛けとして治水対策の機運が高まることを繰り返し、近年に至って上流側は森林蓄積の充実をみるに至ったが(太田 2012b)、利水や土地利用とのバランスが必ずしも十分に調整されてきたわけではない(鈴木ら 1960, 三好 2022)。水循環基本法における流域ガバナンスの概念(海野・山田 2021)が、持続的に発揮されて実を結ぶことに期待したい。

第1期治水計画の際、最初の森林治水事業も計画され(渡邊 2012)、山地源流域における降水量等の基礎資料の不足を埋めるため、森林測候所が開設されて国内における森林水文研究の端緒となった(中野 1976)。そして1937年の第2期森林治水事業開始の頃、竜ノ口山を含む流域試験地で森林理水試験が開始された(農林省林業試験場 1961)。以来80年以上を経過したが、竜ノ口山では植生のリセットが度々生じ(細田・阿部 2012)、現在は森林の発達段階(藤森 2006)における壮齢期以降のデータ蓄積に向かっている。年降水量が600～1700 mmの間で変動する山

原稿受付：令和5年1月24日 原稿受理：令和5年4月13日

1) 森林総合研究所 関西支所

\* 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: hosodaik@affrc.go.jp

地源流域における水流出の実態を示す基礎資料として、本報を含めた観測記録が学術研究、教育、行政に役立つことを望む。

なお、本試験地における流域流出水量および山麓露場の気象観測は、5年毎の中期計画の中で基盤事業として位置づけられ、本報期間はその第3期目にあたる。また、試験流域は国有林内にあり、観測は近畿中国森林管理局岡山森林管理署のご協力の下に実施された。

## 2. 試験地の概要

竜ノ口山は岡山県岡山市の竜ノ口山国有林811林班内（北緯34°42'、東経133°58'）に位置し、南北に隣接する北谷（17.3 ha, 36–246 m）と南谷（22.6 ha, 50–257 m）の二流域で構成される（Fig. 1）。基岩は、北谷右岸と両谷下流部は石英斑岩などの火成岩、それ以外は大部分が硬

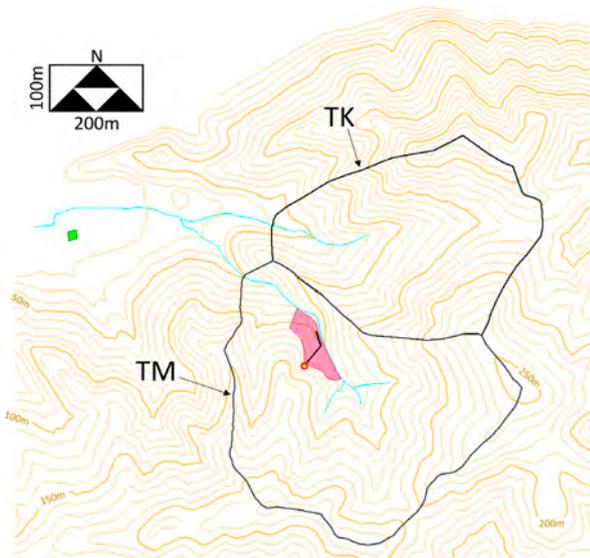


Fig. 1. 竜ノ口山森林理水試験地の地形

### Topography of the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.

TM: 南谷 Minami-dani, TK: 北谷 Kita-dani, ■: 気象観測露場 meteorological enclosure, ■: 2006年植栽地 (L字型太黒線は植栽木のライントランセクト調査ルート) area replanted in 2006 (the L-shaped thick black line is the line transecting the survey route of the planted trees), ●: Photo 1 撮影地点 Photographing point of Photo 1.

砂岩と粘板岩が互層する古生層（超丹波帯江尻層）である。北谷の谷筋に沿う上流部の硬砂岩には、緑色岩（凝灰岩）が顕著に挟在し大きな鞍部を形成している（武田1942, 岸岡・藤枝1984, 細田・谷2016）。

気候条件としては瀬戸内海式気候の下にあり、8月と冬期の降水量は少ない傾向がある。降雪は毎年のようにあるが、1 cm以上積雪することは希である。竜ノ口山の中心部から約7 km離れた岡山地方気象台（以降、岡山）における1891～2022年の記録によれば、本報期間中の2014年2月7～8日に観測された降雪深9 cmは4番目、最大積雪深8 cmは2月としては8番目の上位にそれぞれ位置する（気象庁2022b）。竜ノ口山山麓の森林総合研究所関西支所岡山実験林気象観測露場（以降、山麓露場, Fig. 1）における年降水量の平年値（1981～2010年における月量平均値の合計）は1181.2 mmである。同様に計算される年流出水量の平年値は、南谷355.1 mm、北谷353.8 mmである。また、本報期間における日平均気温の年平均値（最低値, 最高値）は、14.8°C (-2.0°C, 30.3°C) であった。

植生は、1980年頃のマツ枯れ以降に成立したコナラ（*Quercus serrata*）優勢な二次林が広く分布し、一部にヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）を主とする人工林が配置されている（後藤ら2006）。全体的な林相に目視上大きな変化は認められないが、前報（細田ら2019）で述べた状態から顕著な変化が見られたのは、2004年9月下旬～10月中旬に相次いだ台風で風倒被災し、2006年2・3月に混交植林された南谷主流路沿い斜面である（Fig. 1）。2012年1月にライントランセクト法（基線両側各6 m範囲）で植栽木の大きさを調査した結果をTable 1に示す。植栽時に比べれば胸高直径も大きくなり、草本の藪から樹冠を突き出して成長するに至った。2011年1月時点では、斜面全体が見通しの良い草藪景観を呈していたが、この年から急速に伸長し、2015年には植栽木の樹冠が互いに接するまでになった（Photo 1）。

岡山市街地の北東に接する小山稜ではあるが、吉備高原の南端に位置し、植生の自然度も高いため多様な野生動物が生息する（細田2022）。2012年4月と2014年2月にニホンツキノワグマ（*Ursus thibetanus japonicus*）のものと思われる糞が南谷内で見つかった。定着はしていないようだが、行動圏内ではあると考えられる。2014年頃から流域内でニホンイノシシ（*Sus scrofa leucomystax*）の影

Table 1. 南谷2006年植栽木の2012年1月時点の大きさ

### Sizes of planted tree in 2006 in the Minami-dani measured in January 2012.

Species	Number of trees	Number of stems*1	Height (m) Ave. (min.–max.)	DBH*2 (cm) Ave. (min.–max.)	D10%H*3 (cm) Ave. (min.–max.)
Hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> )	18	18	3.6 (2.5–4.6)	4.2 (2.0–6.9)	6.0 (3.1–9.3)
Konara ( <i>Quercus serrata</i> )	2	2	3.7 (3.5–3.9)	3.6 (3.5–3.7)	4.8 (4.7–4.8)
Abemaki ( <i>Quercus variabilis</i> )	1	1	4.0	4.4	5.5
Kuri ( <i>Castanea crenata</i> )	5	6	3.8 (2.6–5.0)	5.2 (3.5–7.5)	6.8 (4.3–10.4)
Yamazakura ( <i>Cerasus jamasakura</i> )	4	6	4.5 (3.2–5.0)	3.9 (2.0–5.8)	5.6 (4.5–7.0)
Yamamomiji ( <i>Acer amoenum</i> )	7	13	2.6 (0.7–3.6)	3.1 (2.0–4.3)	4.3 (1.0–7.6)

\*1: number at 1.3 m high, \*2: diameter at 1.3 m high, \*3: diameter at 10% height of tree.

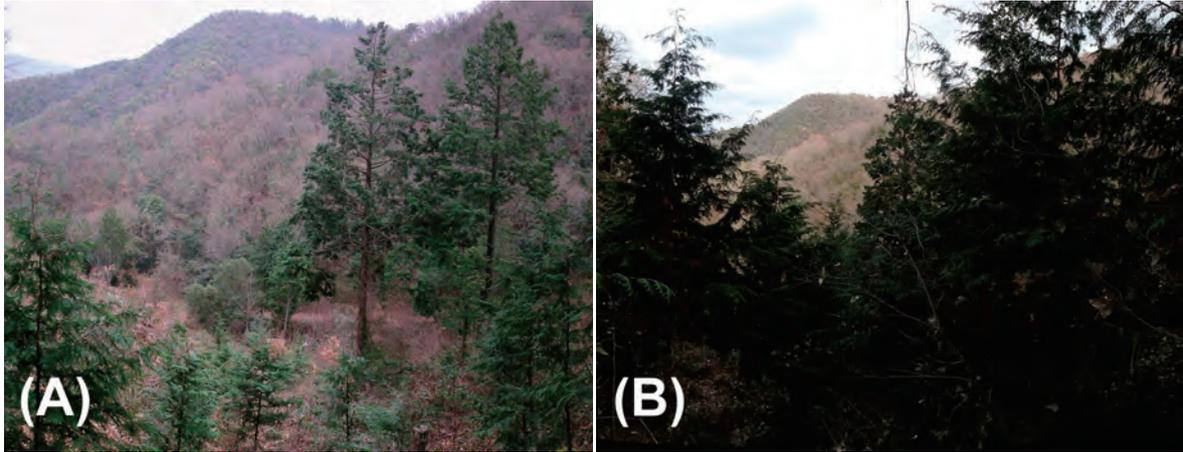


Photo 1. 南谷中流左岸 2006 年植栽地の景観

Views of planted area conducted in 2006 on the left bank of the middle stream of Minami-dani.

A: 2011 年 1 月 6 日 (斜面下部 2 本のヒノキ高木は 1983 年植栽) 6 January, 2011 (two tall trees of Hinoki at the lower slope were planted in 1983), B: 2015 年 1 月 20 日 (Fig. 1 に示す撮影地点から北東方向を望む) 20 January, 2015 (Looking northeast from the photographing point shown in Fig. 1).

が濃くなり、量水堰堤上流側溪流や、斜面で採餌跡と思われる地表面の掘り返しやヌタ場が増加した。2015 年には山麓露場周辺も掘り返されるようになっている。掘り返し現場の水移動は拡散的であり、ヌタ場は狭小で分散しているため、こうした状況が水流出に与える影響は、遊歩道が強雨時に水路化することに比べれば小さいものと思われる。しかし、量水堰堤近傍流路内の掘り返しは湛水池の土砂堆積を促進するため観測上の問題が無いわけではない (Photo 2)。そのほか両谷水量堰堤では、暖かい季節に限られるが、本報期間以前からいたモクズガニ (*Eriocheir japonicus*) の視認頻度が 2012 年頃から増加した。また、2013 年頃から 1～2 匹のウシガエル (*Lithobates catesbeianus*) も観られるようになった。彼らは越流ノッチや水位計フロートに触れることがあり、水位観測上の脅威ではあるが、その影響は短時間の矩形波となること

が多く、見分けやすい。

### 3. 観測の方法

#### 3.1 降水量

山麓露場に設置した 1 台の貯水型雨量計 ( $P_Z$ : No. 39, 大田計器製作所, 2007 年 1 月納品) と、4 台の転倒マス型雨量計 ( $P_A$ : RT-5E (池田計器製作所, 2010 年 3 月製造),  $P_B$ : RT-5 (池田計器製作所, 1993 年 4 月製造),  $P_C$ : RG2M (Onset Computer Co. (以後 Onset), 製造年月不明),  $P_D$ : OW-34 (大田計器製作所, 2007 年 12 月製造)) で降水量を観測した。受水口径は、 $P_C$  が 152 mm、 $P_D$  が 250 mm、それ以外は 200 mm、 $P_{A\sim D}$  の一転倒容量は  $P_C$  が 0.2 mm、それ以外は 0.5 mm である。期間当初の受水口地上高は、同順に 20 cm、60 cm、66 cm、25 cm、77 cm であった。 $P_Z$  は地面に穴を掘り、貯水器全体を埋設していたが、大きな降雨イベント時の地下水上昇により設置穴の浸食が生じて不安定となった。このため 2013 年 8 月 1 日、穴底に砂利を敷き 36 cm とした。また同日、 $P_C$  はナメクジ等対策のため支柱に取り付けて地面から離し、53 cm とした。

$P_Z$  の計量は概ね毎週 1 回行った。 $P_A$  は RVR-52 (T&D)、 $P_D$  は HOBO U30-NRC (Onset) を用いてそれぞれ 10 分間隔で、 $P_{B\sim C}$  は HOBO Event (Onset) を用いて転倒時刻を記録した。2013 年 4 月 19 日午後からは  $P_A$  でも UA-003 (Onset) による転倒時刻記録を開始した。本報期間における雨量計の配置は 2010 年時点 (細田ら 2019) と変わらない。

$P_Z$  が 3 mm を超え、かつ  $P_{A\sim D}$  が  $P_Z$  の 75% 未満の場合を欠測としたとき、欠測の発生状況は Fig. 2 となる。欠測の原因は、主にデータロガーの電池切れや不具合、濾過網や濾水器の目詰まりであった。 $P_C$  は本体を地面から離したことで欠測が大幅に減少した。

$P_{A\sim D}$  と  $P_Z$  の値の関係を調べると、 $P_D$  が最も  $P_Z$  に近い傾向があるものの、相関係数が最も高いのは  $P_A$  であった



Photo 2. ニホンイノシシによると推測される北谷水量堰堤近傍溪床の顕著な攪乱 (2014 年 9 月 3 日)

Conspicuous disturbance of streambed near the Kita-dani gauging weir presumed to be caused by Japanese wild boars (3 September, 2014).

(Fig. 3)。ほぼ毎週1回 $P_Z$ が計量されていることから本報では、 $P_Z < P_A$ のときは $P_A$ の値をそのまま用い、 $P_Z > P_A$ のときは $P_Z$ 値を $P_A$ 値で按分し、日単位で積算した値を日降水量値( $P$ )とした。ただし、 $P_Z$ と $P_A$ に25%を超える差がある場合には、 $P_D$ 、 $P_C$ 、 $P_B$ の順で代替した。2011年5月31日から6月6日の $P_Z$  0.7 mmに対し、 $P_{A-D}$ は0 mmであった。両谷の水位はこの期間を通じて減水過程であったが、岡山(気象庁 2022b)では6月1日に0.5 mmの降水量を観測していた。竜ノ口山でも同日に同様の降水があったと推定し、 $P_Z$ の値をそのまま用いた。月降水量は日降水量を積算して求めた。

### 3.2 流出水量

1937年の観測開始以来使用する60°Vノッチ式量水堰堤で水位を観測し、武田(1942)記載の流量曲線実験式を用いて流量に換算し、時間積分した値を日流出水量値と

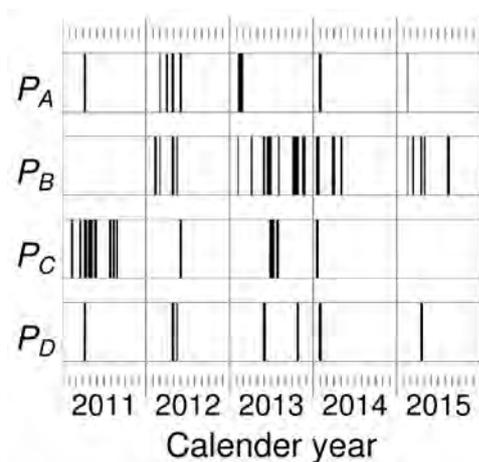


Fig. 2. 各転倒マス型雨量計の欠測期間(黒塗り部分)  
Data missing periods for each tipping bucket type rain gauge (blackened sections).

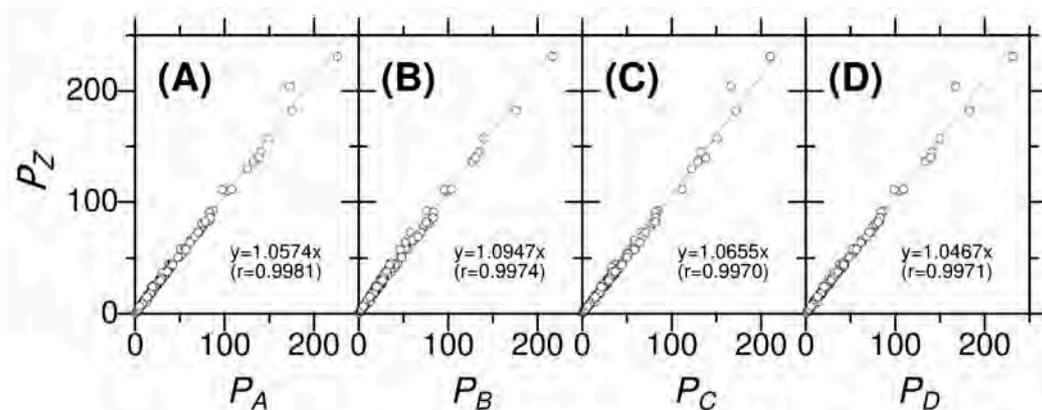


Fig. 3. 2011 ~ 2015 年における貯水型雨量計と転倒マス型雨量計の値の関係  
Relationships between storage type rain gauge data and tipping-bucket type rain gauge data from 2011 to 2015.

$P_Z$ : 貯水型雨量計 storage type rain gauge,  $P_{A-D}$ : 転倒マス型雨量計 tipping bucket type rain gauge.

した。月流出水量は日流出水量を積算して求めた。水位は、堰堤湛水池に隣接し、湛水池と連通管で連結した水位測定池(武田 1942)の建屋内において、フロート式のペン記録型長期自記水位計(ALR-203, 池田計器製作所, 1983年4月製, 測定範囲2 m, 紙送り6 mm h<sup>-1</sup>, 水位倍率1)を用いて観測した。自記水位記録は、水位波形が直線とみなせる区間の両端の日時と水位を手作業で読み取って離散化した(細田ら 2007)。読取り時間間隔は基本的に1~4時間、出水時は最小1分までとした。水位の読取り最小単位は0.1 mmとした。時間積分は、読取り時間間隔における流量平均値を用い、台形公式により区間流出水量を計算した。読取り時間間隔が1時間を超える場合は、毎正時の水位を内挿して計算した。

自記紙記録の読み取り値確認や、ノッチの目詰まり等による乱れの補正等を補助するため、ALR-203に装備されたポテンシオメーター出力を、D1ポテンシオA(ログ電子, 2006年3月製造)により正10分毎に記録した。ポテンシオメーターへの電圧印加は、6V鉛蓄電池(NP4.5-6, GSユアサ)をロガーに接続し、プレヒート機能を用いておこなった。南谷では、D1ポテンシオAを修理していた2011年1月21日までの期間(細田ら 2019)、データロガーにはHIOKI3645(日置電機)を用い、水位計測建屋内の100V商用電源に接続した無停電電源装置(BK500JP, APC)から給電される6Vトランス型ACアダプターを印加電源として用いた。その後、鉛蓄電池のメンテナンス頻度を下げるため、2013年12月25日に両谷とも定格容量が大きいWP9-6A(LONG)に交換した。また、ALR-203不調による欠測対策として、静電容量式水位計(WT-HR 1000, Intech Instruments Ltd)による並行観測(記録間隔10~20分, ループアラウンドモード)を継続した。

本報期間中、両谷とも湛水池の土砂を浚渫した。2005年1月の浚渫以来累加的に土砂の堆積が進んだためであるが、2011年9月の台風12号(TALAS)の通過に伴う土砂流出は特に多かった。両谷湛水池とも浚渫が必要な状況と

なったが、同時に実施すると完全な欠測期間が生じてしまうため、まず2013年2月25日朝、北谷の湛水池の浚渫を開始し、3月3日夕方観測を再開した。南谷はその翌年、2月17日昼過ぎに浚渫を開始し、2月22日昼過ぎに観測を再開した。

浚渫中は欠測となったが、次のように推定した値を負値で掲載した。なお、一般に山地流域の降雨流出応答は非線形性が強く(山田 2003)、欠測期間中に降雨があった場合の流出水量の推定は簡単ではない。ここに示す方法は、補完アプローチの一例として見て頂きたい。

北谷浚渫中は2月26日18時から27日7時にかけて7.0 mm、3月1日14～18時に18.4 mmの降雨を観測した。冬の寡雨乾燥期が終わるこの時期、降雨イベントの度に流域の貯留量が増えていき、降雨に対する水流出の反応は、各流域の流出特性に応じて徐々に敏感になっていった。このため、当日を含む数日間の積算雨量と、浚渫前後の降雨イベントにおける北谷( $Q_K$ )と南谷( $Q_M$ )の日流出水量の比( $Q_K/Q_M$ )との関係を調べた。試行錯誤の結果、当日雨量と前4日間の計5日間の日雨量( $P$ )を次式のように重み付けした降水量( $P_{w5}$ )と $Q_K/Q_M$ の関係が良好であった。

$$P_{w5}(i) = 0.5P(i) + 0.75P(i-1) + P(i-2) + 0.75P(i-3) + 0.5P(i-4)\dots(1)$$

ここで、 $i$ は当日を意味する。また、 $P_{w5}$ の増加過程と減少過程を分けて検討し、 $P_{w5}$ の増加過程における $Q_K/Q_M$ との関係は、2つの出水でほぼ近似したのでひとつの回帰式を求めた(Fig. 4A)。同じく減少過程は、2つの出水で若干異なったため、それぞれ回帰式を求めた(Fig. 4B)。浚渫中の北谷における日流出水量の変動は南谷同様と仮定し、増水過程の日はFig. 4Aの回帰式による値を、減水過程の日はFig. 4Bの2つの回帰式による値の平均値を、それぞれ推定値とした(Fig. 4C)。

南谷浚渫中は2月18日に0.7 mmの降水が観測されたが、北谷では期間を通じて概ね減水過程にあった。そこで、南谷も同様に期間を通じて減水過程にあったと仮定し、2月16～26日に観測された水位を滑らかに接続する曲線で近似した(Fig. 5)。試行錯誤の結果、近似式には相関係数の最も高かった5次回帰式を用い、17日12時～22日9時の3時間毎の水位を推定し、日流出水量を計算した。

4. 結果

2011～2015年における日降水量および日流出水量をTable 2にまとめた。日界は降水量、流出水量ともに24時である。本報期間の総降水量6778.8 mmに対し、総流出水量は南谷1978.4 mm、北谷2499.4 mm、流出率は同順に29.2%、36.9%であった。

年降水量は2011年から順に1507.4 mm、1172.6 mm、1471.7 mm、1195.7 mm、1431.4 mmであり、1年置きに平

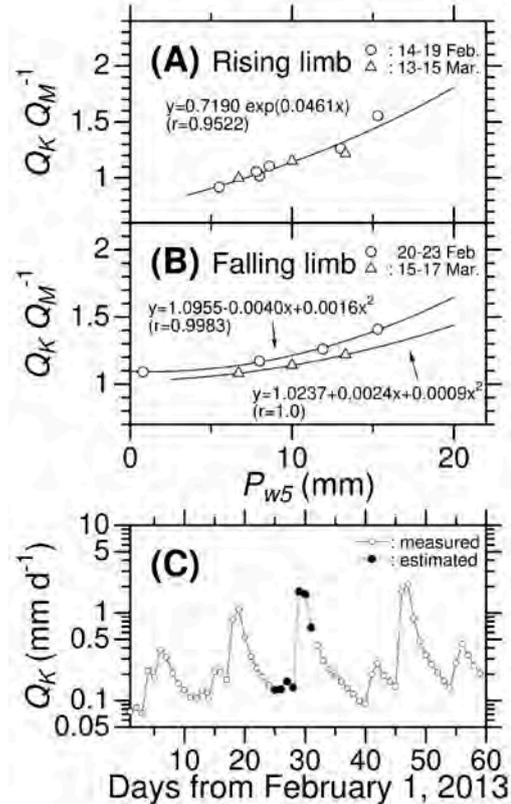


Fig. 4. 北谷における欠測期間(2013年2月25日～3月3日)の日流出水量推定

Estimation of daily runoff during data missing periods in the Kita-dani (25 February–3 March, 2013).

$Q_M$ : 南谷日流出水量 daily runoff in the Minami-dani,  $Q_K$ : 北谷日流出水量 daily runoff in the Kita-dani,  $P_{w5}$ : 式(1)による加重5日間降水量 weighted sum of 5-day precipitation by Eq. (1).

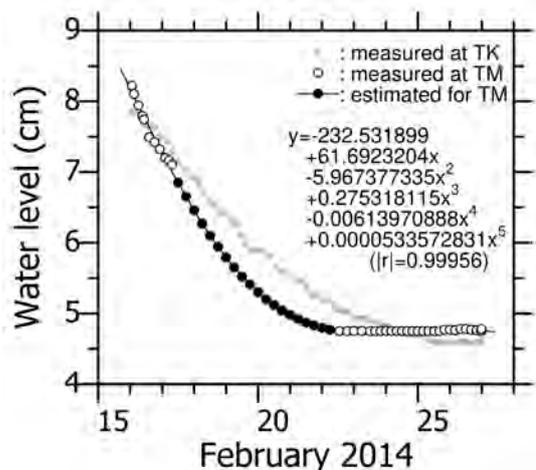


Fig. 5. 南谷における欠測期間(2014年2月17日～22日)の水位推定

Estimation of water levels during data missing periods in the Minami-dani (17–22 February, 2014).

年値付近とそれを250 mm以上上回る変動が繰り返された。0.5 mm以上の年降水日数は、2011年から順に105日、118日、101日、124日、129日であり、報告期間後半に多かった。年降水量を年降水日数で除した年平均日降水量は、概ね年降水量の多い年に多い傾向があるものの、月単位の平均日降水量の年最大値は、年降水日数の少ない2011年と2013年の値（順に40.8 mm、29.2 mm）が、他の年の値（17.4~19.8 mm）に比べて突出した。2011年の大きな年最大月平均日降水量は、9月に2つの台風によってもたらされたが、5月にも24.0 mmを記録しており、両月の月降水量はともに1937年観測開始以来の極値であった。5月は、台風1号 (AERE) の北上に伴い山口県から三重県にかけて延びる停滞前線が刺激されて11日に73 mm、停滞前線を伴う低気圧が四国の南海上を通過するのに伴い23日に45.9 mm、台風2号 (SONGDA) が琉球列島に沿って北上し紀伊半島に抜けた影響で梅雨前線の活動が活発となり29日に64.3 mmなど、竜ノ口山としては大きな降水イベントが続いた (岡山地方気象台 2011a)。9月は、本報冒頭でも述べた台風12号 (TALAS) が、高知県東部から北上して岡山平野に上陸し、そのまま日本海に抜けたため、竜ノ口山にも3日だけで202.2 mmの降水をもたらした。続いて台風15号 (ROKE) が沖縄から紀伊半島の東を通り浜松市付近に上陸するルートで北上した影響で、16日に117.8 mm、21日に52.6 mm、22日に50.7 mmのまとまった降水となった (岡山地方気象台 2011b)。2013年の年最大月平均日降水量も9月の値だが、6月にも29.1 mmを記録した。6月は、山口県から三重県にかけて停滞した活発な梅雨前線の影響で19日と20日にそれぞれ90.2 mmと86.0 mm、九州北部に中心を持つ低気圧から四国の南に延びる梅雨前線に湿った空気が流れ込んだ影響で26日に82.5 mmを記録した (岡山地方気象台 2013a)。9月は、台風17号 (TORAJI) から延びる秋雨前線が中国地方に停滞した影響で1日から4日にかけて26.6~50.1 mmの降水が連続し、15日にも四国南沖の台風18号 (MAN-YI) と日本海に発生した停滞前線の影響で62.0 mmを記録した (岡山地方気象台 2013b)。

年流出水量は2011年から順に、南谷で612.0 mm、330.9 mm、356.4 mm、233.7 mm、445.4 mm、北谷で735.1 mm、394.5 mm、532.5 mm、343.5 mm、493.7 mmであり、期間を通じて概ね平年並みかそれ以上で推移した。年流出率は、南谷では2011年から2014年にかけて40.6%から19.5%に低下した。一方、北谷では南谷同様に48.8%から28.7%への低下傾向となったものの、2013年の年流出率は前年をやや上回った。2014年は本報期間中の年流出率が最低ではあるものの、同年の西日本を中心とした8月豪雨 (気象庁 2022c) により、竜ノ口山でも8月の降水量が平年値 (95.6 mm) を大きく上回る264.3 mmを記録した。その後の16ヶ月中11ヶ月で平年並み以上の降水量となったことから、2015年の年流出率は南谷31.1%、北谷34.5%に増加した。各年の年降水量と年流出水量の差はそのまま損失ということではなく、その何割かは流域土壌

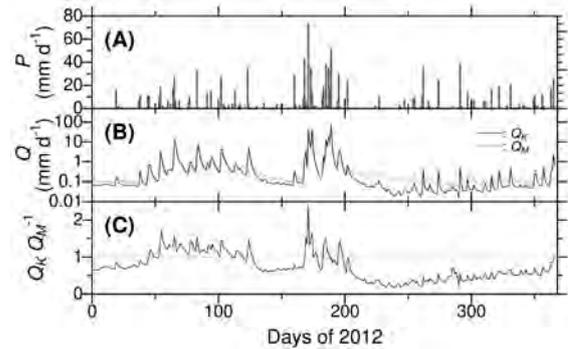


Fig. 6. 2012 年における日降水量 (A) と日流出水量 (B)、および両谷日流出水量の比 (C) の変動

Fluctuation of daily precipitation (A), runoff (B), and ratio of runoff (C) in 2012.

$P$ : 日降水量 daily precipitation,  $Q_M$ : 南谷日流出水量 daily runoff in the Minami-dani,  $Q_K$ : 北谷日流出水量 daily runoff in the Kita-dani.

における貯留水量の回復に寄与したと考えられる (谷・細田 2012)。本報期間4年目までの年流出率減少傾向を生じさせた要因としては、2010年7月後半~9月前半の寡雨 (中国地方整備局 2010, 細田ら 2019) で流域土壌が乾燥側に大きく振れた影響が考えられる。また、まとまった降水イベントに対する流出の応答は北谷の方が南谷よりも敏感であり、大きな出水となりやすい。2012年を例にすれば、平年以上の月降水量を記録した2・3月と6・7月の北谷の日流出水量は南谷を上回る日が多く、降水量が多い日はその差が大きい (Fig. 6)。このため、年流出率が低下傾向にある中で、北谷では大きな降水イベントが多かった2013年に年流出率が前年を少し上回ったと推察される。反面、流域土壌の乾燥が進んだとき、北谷では南谷よりも基底流出が少なくなる傾向がある。2012年においては、月降水量が平年を大きく下回った4・5月と8~10月の北谷の日流出水量は南谷を下回って推移した (Fig. 6)。特に月降水量が18.1 mmと極端に少なかった8月以降、降雨に対する水流出の増加率 (降雨日の日流出量を直前無降雨日の日流出量で除した比率) は、北谷の値が南谷の値を下回ることはいくつかあるものの、落葉後の年末にまとまった降水があるまで、北谷の日流出水量が南谷を上回ることはいなかった。当試験地の大部分を占める古生層は厚い風化帯を有するが、火成岩を基岩とする北谷右岸斜面は土壌が薄い (岸岡・藤枝 1984, 細田・谷 2016)。土壌の厚さは降水波形の流出変換に大きな影響を与えるため (小杉 2007)、土壌の薄い右岸斜面が南谷とは異なる流出特性を北谷に与えていると考えられる。北谷右岸の土壌が薄いのは、地質的な特性のほか、15~16世紀に城が築かれていたこと (高島の風土記研究会 2009) なども影響していると思われる。本報期間の気象概況と流出水量の各年の経過については森林総合研究所関西支所年報 (細田 2013a, 2013b, 2014, 2015, 2016) に概要をまとめているので参考にしたい。

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.

月 Month	2011年1~6月			1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	項目 Item	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff
日 day	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani
1	1.1	0.105	0.086	0.0	0.057	0.054	1.1	0.146	0.160	0.0	0.072	0.065	5.0	0.170	0.183	0.7	0.853	0.937			
2	0.0	0.096	0.077	0.0	0.058	0.055	2.2	0.120	0.132	0.0	0.069	0.062	0.0	0.119	0.119	0.0	0.453	0.519			
3	0.0	0.092	0.075	0.0	0.059	0.057	0.0	0.103	0.109	0.0	0.065	0.059	0.0	0.102	0.092	0.0	0.297	0.320			
4	0.0	0.084	0.073	0.0	0.059	0.055	0.0	0.096	0.101	0.0	0.063	0.053	0.0	0.090	0.076	0.0	0.212	0.176			
5	0.0	0.079	0.067	0.0	0.059	0.054	0.0	0.088	0.095	0.0	0.060	0.050	0.0	0.077	0.064	0.0	0.170	0.113			
6	0.0	0.076	0.063	0.0	0.058	0.055	6.9	0.095	0.107	0.0	0.060	0.052	0.0	0.069	0.056	0.0	0.136	0.087			
7	0.0	0.075	0.064	0.0	0.058	0.055	2.9	0.223	0.243	0.0	0.059	0.052	8.1	0.076	0.063	0.0	0.111	0.061			
8	0.0	0.077	0.065	9.7	0.081	0.083	0.0	0.164	0.188	4.6	0.066	0.062	0.0	0.095	0.076	1.6	0.114	0.065			
9	0.0	0.077	0.066	2.3	0.119	0.135	0.0	0.127	0.140	2.6	0.073	0.078	0.0	0.064	0.046	0.0	0.097	0.056			
10	0.0	0.073	0.066	0.6	0.074	0.074	0.0	0.110	0.115	0.0	0.063	0.060	10.0	0.103	0.086	23.8	0.262	0.188			
11	0.0	0.072	0.065	4.0	0.079	0.087	0.0	0.096	0.100	0.0	0.061	0.056	73.0	15.391	23.873	27.0	6.846	9.386			
12	0.0	0.072	0.062	1.7	0.082	0.085	0.0	0.087	0.091	0.0	0.060	0.054	27.0	30.001	78.941	26.4	5.491	7.635			
13	0.0	0.070	0.059	0.0	0.072	0.072	0.0	0.084	0.086	0.0	0.056	0.051	0.0	3.266	8.519	0.0	8.329	9.388			
14	0.0	0.067	0.057	1.1	0.075	0.077	0.0	0.082	0.084	0.0	0.056	0.050	0.0	0.663	1.036	0.0	2.244	2.175			
15	0.0	0.069	0.060	9.7	0.167	0.213	0.0	0.079	0.081	4.5	0.071	0.066	0.0	0.267	0.369	0.0	0.796	0.755			
16	0.0	0.067	0.060	0.0	0.164	0.175	0.0	0.071	0.070	0.0	0.065	0.060	0.0	0.172	0.193	20.2	0.833	0.879			
17	0.0	0.067	0.060	11.3	0.163	0.150	0.0	0.067	0.063	0.0	0.060	0.051	0.0	0.132	0.107	0.5	1.729	2.200			
18	0.0	0.067	0.059	0.6	0.635	0.618	0.0	0.065	0.057	11.2	0.126	0.126	0.0	0.100	0.112	2.2	1.058	1.209			
19	0.0	0.067	0.057	0.0	0.249	0.267	0.0	0.065	0.059	2.8	0.107	0.099	0.0	0.076	0.095	0.0	0.720	0.814			
20	0.0	0.066	0.057	0.0	0.165	0.172	3.9	0.070	0.064	0.0	0.079	0.073	0.0	0.066	0.083	7.1	0.641	0.736			
21	0.0	0.065	0.057	0.0	0.126	0.132	12.3	0.211	0.228	0.0	0.070	0.062	0.0	0.059	0.077	6.6	0.757	0.943			
22	0.0	0.064	0.056	0.0	0.108	0.110	1.1	0.172	0.186	5.0	0.069	0.061	10.3	0.132	0.122	0.0	0.577	0.620			
23	0.0	0.062	0.055	0.0	0.097	0.098	0.0	0.132	0.136	13.8	0.520	0.532	45.9	1.908	2.106	0.0	0.404	0.344			
24	0.0	0.061	0.055	0.0	0.091	0.095	0.0	0.110	0.112	0.6	0.256	0.285	21.6	12.777	19.425	0.0	0.261	0.171			
25	0.0	0.059	0.055	0.0	0.085	0.085	0.0	0.097	0.098	0.6	0.145	0.152	0.0	2.313	2.723	5.4	0.180	0.094			
26	0.0	0.058	0.054	0.0	0.074	0.074	0.0	0.087	0.087	0.0	0.116	0.108	5.7	0.648	0.780	6.0	0.244	0.152			
27	0.0	0.057	0.053	0.6	0.071	0.072	0.0	0.082	0.081	18.4	0.302	0.300	11.4	0.548	0.696	1.2	0.184	0.123			
28	0.0	0.059	0.053	10.6	0.167	0.182	0.0	0.080	0.077	1.1	0.711	0.832	26.8	2.918	4.855	0.0	0.144	0.092			
29	0.0	0.058	0.055	0.0	0.078	0.074	0.0	0.078	0.074	0.0	0.249	0.318	64.3	64.499	78.727	0.0	0.111	0.054			
30	0.0	0.058	0.056	0.0	0.076	0.069	0.0	0.076	0.069	0.6	0.154	0.176	2.8	15.940	21.169	0.0	0.099	0.047			
31	0.0	0.058	0.054	0.0	0.074	0.067	0.0	0.074	0.067	0.0	0.154	0.176	0.0	2.450	2.371	0.0	0.099	0.047			
合計 total	1.1	2.177	1.901	52.2	3.352	3.441	30.4	3.237	3.360	65.8	3.983	4.105	311.9	155.291	247.240	128.7	34.353	40.339			

※イタリック体の日降水量は貯水量雨量計の値。  
Daily values by storage-type raingauge are denoted in italic type.

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量(つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	2011年7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December				
	項目 Item	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani
1	10.3	0.180	0.102	0.0	0.102	0.046	0.5	0.069	0.040	0.0	0.226	0.083	0.196	0.097	0.6	0.146	0.086	0.146	0.086	0.086
2	5.4	0.246	0.125	0.0	0.091	0.040	23.5	0.212	0.142	0.0	0.203	0.065	0.0	0.193	0.100	2.2	0.149	0.085	0.149	0.085
3	2.2	0.333	0.131	0.0	0.083	0.031	202.2	105.366	126.825	0.0	0.192	0.061	0.0	0.189	0.100	14.3	0.353	0.285	0.353	0.285
4	41.1	4.115	3.518	0.0	0.078	0.027	4.1	32.297	30.674	0.0	0.184	0.060	0.0	0.188	0.100	0.0	0.170	0.135	0.170	0.135
5	0.0	5.710	5.551	0.0	0.076	0.023	0.5	2.404	2.154	21.2	0.433	0.238	9.1	0.255	0.158	0.0	0.168	0.112	0.168	0.112
6	31.7	3.370	3.958	0.0	0.075	0.033	0.0	0.641	0.550	0.6	0.344	0.183	0.6	0.249	0.133	0.0	0.165	0.102	0.165	0.102
7	33.8	24.712	29.261	0.0	0.071	0.054	0.0	0.297	0.227	0.0	0.231	0.102	0.0	0.211	0.116	0.0	0.164	0.101	0.164	0.101
8	0.0	9.053	7.992	0.0	0.073	0.042	0.0	0.191	0.120	0.0	0.203	0.082	0.0	0.192	0.097	6.0	0.188	0.122	0.188	0.122
9	0.0	2.217	1.940	0.0	0.071	0.050	0.0	0.141	0.075	0.0	0.202	0.079	0.0	0.178	0.089	0.5	0.161	0.100	0.161	0.100
10	0.0	0.839	0.726	0.0	0.064	0.040	0.0	0.124	0.060	0.0	0.194	0.079	0.0	0.171	0.086	0.0	0.148	0.094	0.148	0.094
11	0.0	0.458	0.349	0.0	0.059	0.019	0.0	0.113	0.045	0.0	0.183	0.079	0.0	0.169	0.089	0.0	0.146	0.090	0.146	0.090
12	3.8	0.352	0.235	5.1	0.071	0.042	0.0	0.102	0.038	0.0	0.182	0.077	0.0	0.168	0.090	0.0	0.145	0.086	0.145	0.086
13	0.0	0.264	0.156	0.0	0.082	0.052	0.0	0.099	0.047	0.0	0.178	0.081	0.0	0.164	0.094	0.0	0.141	0.086	0.141	0.086
14	0.0	0.201	0.102	0.0	0.066	0.031	0.0	0.092	0.046	11.3	0.235	0.129	0.0	0.156	0.090	0.0	0.138	0.086	0.138	0.086
15	0.0	0.171	0.080	0.0	0.063	0.035	0.0	0.083	0.036	4.7	0.291	0.166	0.0	0.144	0.076	0.0	0.137	0.085	0.137	0.085
16	0.0	0.153	0.064	0.0	0.055	0.021	117.8	25.435	31.866	0.0	0.214	0.110	0.0	0.134	0.075	0.0	0.132	0.084	0.132	0.084
17	0.0	0.140	0.054	0.0	0.052	0.010	26.0	60.264	64.543	0.0	0.183	0.084	0.0	0.136	0.072	0.0	0.130	0.081	0.130	0.081
18	10.3	0.220	0.116	0.0	0.048	0.013	0.0	6.291	6.297	0.0	0.172	0.075	1.6	0.134	0.072	0.0	0.129	0.081	0.129	0.081
19	23.4	0.586	0.386	0.0	0.053	0.016	8.3	1.653	1.479	0.0	0.160	0.072	51.7	3.741	3.216	0.0	0.124	0.081	0.124	0.081
20	0.0	0.405	0.242	2.7	0.072	0.036	52.6	13.361	17.629	0.0	0.160	0.074	1.0	0.852	0.892	0.0	0.122	0.078	0.122	0.078
21	0.0	0.191	0.094	29.1	0.336	0.201	50.7	69.697	73.313	3.4	0.169	0.076	0.0	0.329	0.249	0.0	0.121	0.078	0.329	0.249
22	0.0	0.141	0.070	0.5	0.113	0.045	2.0	6.037	4.586	18.0	0.481	0.280	0.0	0.236	0.159	0.0	0.121	0.080	0.236	0.159
23	0.0	0.128	0.061	7.9	0.141	0.072	0.0	1.493	1.249	0.6	0.379	0.191	0.0	0.217	0.134	0.0	0.121	0.080	0.217	0.134
24	0.0	0.116	0.051	0.0	0.110	0.049	0.0	0.664	0.523	0.0	0.256	0.134	0.0	0.178	0.108	0.0	0.119	0.078	0.178	0.108
25	0.0	0.144	0.057	8.2	0.189	0.083	0.0	0.420	0.285	0.0	0.220	0.122	0.0	0.159	0.093	0.0	0.113	0.076	0.159	0.093
26	0.0	0.155	0.062	40.9	1.252	0.793	0.0	0.342	0.175	0.0	0.181	0.104	0.0	0.153	0.090	0.0	0.110	0.076	0.153	0.090
27	0.0	0.149	0.049	0.0	0.344	0.173	0.0	0.294	0.125	0.0	0.172	0.091	0.0	0.152	0.090	0.0	0.109	0.074	0.152	0.090
28	0.0	0.126	0.045	0.0	0.120	0.047	0.0	0.252	0.098	0.0	0.172	0.090	0.0	0.151	0.089	0.0	0.109	0.073	0.151	0.089
29	0.0	0.097	0.039	0.0	0.084	0.036	0.0	0.237	0.091	0.0	0.171	0.087	0.0	0.150	0.090	0.0	0.109	0.072	0.150	0.090
30	11.5	0.193	0.106	0.0	0.075	0.032	1.8	0.250	0.094	8.7	0.188	0.097	0.0	0.149	0.091	0.0	0.106	0.071	0.149	0.091
31	0.0	0.136	0.056	0.0	0.069	0.034	0.0	0.250	0.094	3.3	0.260	0.152	0.0	0.149	0.091	0.0	0.105	0.069	0.149	0.091
合計 total	173.5	55.301	55.778	94.4	4.238	2.226	490.0	328.921	363.432	71.8	7.019	3.403	64.0	9.694	7.035	23.6	4.399	2.887	4.399	2.887

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量 (つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

項目 Item	2012年1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	露場 Meteorological station															
1	0.0	0.105	0.069	0.090	0.067	0.0	0.274	0.368	0.0	0.565	0.744	0.0	0.229	0.203	0.0	0.113	0.075	0.0
2	0.8	0.104	0.068	0.085	0.066	4.1	0.317	0.401	0.0	0.405	0.532	0.0	1.236	1.377	34.7	0.109	0.073	0.0
3	0.0	0.104	0.068	0.083	0.065	0.0	0.280	0.357	15.3	1.174	1.393	0.0	3.473	5.139	3.7	0.107	0.073	0.6
4	0.0	0.104	0.068	0.081	0.061	17.6	0.422	0.543	0.0	1.254	1.689	0.0	1.554	1.889	0.0	0.101	0.069	0.0
5	0.0	0.103	0.068	0.078	0.058	27.0	8.546	13.483	0.0	0.888	1.096	0.0	0.747	0.807	0.0	0.104	0.073	0.0
6	0.0	0.101	0.067	0.082	0.061	6.2	7.835	10.500	0.0	0.635	0.749	0.0	0.488	0.472	0.0	0.106	0.072	0.0
7	0.0	0.097	0.069	0.361	0.327	0.0	2.951	3.406	0.0	0.448	0.529	0.0	0.360	0.312	0.0	0.093	0.061	0.0
8	0.0	0.099	0.071	0.147	0.125	0.0	1.186	1.469	0.0	0.350	0.400	0.0	0.300	0.239	28.4	0.376	0.301	0.0
9	0.0	0.100	0.072	0.110	0.090	6.5	0.811	1.040	0.0	0.316	0.336	0.0	0.265	0.198	3.2	0.289	0.198	0.0
10	0.0	0.099	0.073	0.098	0.079	0.0	0.710	0.963	0.0	0.281	0.289	0.0	0.227	0.163	0.0	0.148	0.103	0.0
11	0.0	0.099	0.074	0.092	0.073	0.0	0.549	0.719	27.6	2.398	3.443	0.0	0.199	0.135	0.0	0.127	0.090	0.0
12	0.0	0.100	0.074	0.085	0.067	0.0	0.413	0.517	0.0	2.973	4.304	0.0	0.192	0.126	2.6	0.137	0.100	0.0
13	0.0	0.099	0.073	0.189	0.176	0.0	0.312	0.381	3.7	1.484	1.820	0.0	0.185	0.116	0.0	0.124	0.091	0.0
14	0.0	0.098	0.067	0.745	0.736	0.0	0.272	0.313	1.6	1.021	1.248	0.0	0.180	0.108	0.0	0.108	0.077	0.0
15	0.0	0.097	0.067	0.545	0.652	0.0	0.250	0.269	0.0	0.692	0.856	0.0	0.203	0.130	4.9	0.106	0.077	0.0
16	0.0	0.096	0.066	0.267	0.313	4.9	0.224	0.236	0.0	0.558	0.648	0.0	0.195	0.127	43.2	1.586	1.445	0.0
17	0.0	0.094	0.064	0.188	0.200	9.9	0.727	0.881	2.9	0.467	0.519	0.0	0.168	0.105	0.0	2.053	3.114	0.0
18	0.0	0.092	0.062	0.150	0.151	0.0	0.661	0.955	0.0	0.381	0.418	0.0	0.154	0.093	0.0	0.394	0.533	0.0
19	16.0	0.157	0.136	0.126	0.126	0.5	0.476	0.672	0.0	0.326	0.341	0.0	0.142	0.086	73.6	19.199	46.466	0.0
20	1.1	0.177	0.145	0.113	0.112	0.0	0.385	0.499	4.0	0.307	0.307	0.0	0.138	0.085	0.0	7.099	9.335	0.0
21	1.7	0.120	0.089	0.110	0.106	0.0	0.309	0.379	0.6	0.280	0.270	0.0	0.136	0.086	0.0	3.684	5.434	0.0
22	0.0	0.114	0.084	0.156	0.162	9.7	0.266	0.307	15.4	0.737	0.731	0.0	0.131	0.083	13.9	26.574	43.650	0.0
23	0.0	0.108	0.077	2.374	3.429	32.8	2.452	3.794	0.0	0.622	0.723	0.0	0.130	0.081	0.0	3.575	3.622	0.0
24	0.0	0.102	0.071	0.948	1.633	1.1	5.848	7.721	0.0	0.452	0.529	0.0	0.126	0.080	2.6	1.140	1.206	0.0
25	0.0	0.100	0.069	0.507	0.728	2.7	2.343	2.591	2.9	0.387	0.435	0.0	0.139	0.094	2.1	0.626	0.705	0.0
26	0.0	0.098	0.068	0.322	0.438	0.0	1.105	1.260	4.3	0.388	0.428	0.0	0.141	0.097	0.0	0.371	0.382	0.0
27	0.0	0.097	0.066	0.240	0.302	0.0	0.673	0.804	0.0	0.317	0.346	0.0	0.120	0.081	0.0	0.280	0.226	0.0
28	0.0	0.095	0.067	0.192	0.232	0.0	0.504	0.590	0.0	0.266	0.273	0.0	0.112	0.073	0.0	0.242	0.173	0.0
29	0.0	0.093	0.067	6.8	0.302	0.0	0.366	0.436	0.0	0.240	0.230	0.0	0.125	0.081	0.0	0.208	0.133	0.0
30	0.0	0.092	0.067	0.0	0.375	0.0	0.324	0.360	1.1	0.231	0.215	0.0	0.129	0.088	9.4	0.264	0.184	0.0
31	0.0	0.092	0.068	0.0	0.723	13.6	0.723	0.816	0.0	0.231	0.215	0.0	0.116	0.077	0.0	0.116	0.077	0.0
合計 total	19.6	3.236	2.314	8.866	11.010	124.7	42.514	57.030	79.4	20.843	25.841	53.8	12.040	12.831	231.8	69.443	118.141	0.0

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量(つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	露場 Meteorological station															
項目 Item	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	北谷 Kita-dani															
日 day	18.7	1.290	1.632	0.0	0.214	0.078	0.0	0.108	0.023	0.5	0.161	0.064	0.0	0.083	0.036	0.0	0.103	0.053
2	0.0	0.693	1.026	0.6	0.209	0.079	0.0	0.108	0.025	0.0	0.111	0.043	0.0	0.074	0.035	0.0	0.099	0.051
3	38.1	8.940	13.433	0.0	0.203	0.085	7.7	0.154	0.041	0.0	0.095	0.035	0.0	0.076	0.029	4.6	0.101	0.055
4	2.1	5.294	6.016	0.0	0.196	0.056	0.6	0.133	0.041	0.0	0.093	0.031	0.0	0.076	0.029	0.0	0.116	0.073
5	35.5	16.272	18.358	0.0	0.194	0.056	0.0	0.120	0.032	0.0	0.086	0.026	6.2	0.111	0.058	0.0	0.096	0.054
6	17.0	9.427	9.113	0.0	0.199	0.058	0.0	0.112	0.026	0.0	0.089	0.032	6.2	0.150	0.084	1.7	0.099	0.055
7	52.0	83.558	82.799	0.0	0.196	0.058	0.0	0.103	0.031	0.0	0.085	0.034	0.0	0.096	0.042	2.9	0.094	0.052
8	0.0	6.266	5.314	0.0	0.191	0.060	0.0	0.100	0.032	0.0	0.079	0.038	0.0	0.087	0.035	0.6	0.110	0.072
9	0.0	1.756	1.613	0.0	0.189	0.053	1.3	0.098	0.036	0.0	0.077	0.037	0.0	0.078	0.033	0.0	0.099	0.055
10	0.0	0.852	0.770	0.0	0.189	0.054	8.4	0.171	0.066	0.0	0.075	0.036	0.0	0.073	0.032	0.0	0.095	0.051
11	1.1	0.600	0.488	2.3	0.221	0.073	9.4	0.264	0.092	1.9	0.085	0.060	16.8	0.288	0.174	0.0	0.092	0.051
12	5.4	0.557	0.433	0.0	0.217	0.084	0.5	0.129	0.037	0.0	0.068	0.045	0.0	0.149	0.073	0.0	0.091	0.049
13	30.1	2.636	3.237	0.0	0.203	0.076	0.0	0.115	0.041	0.0	0.067	0.035	0.0	0.114	0.045	0.0	0.091	0.047
14	1.6	2.827	4.110	10.5	0.308	0.110	0.0	0.109	0.026	0.0	0.071	0.042	0.0	0.093	0.042	6.9	0.103	0.056
15	0.0	1.306	1.629	0.0	0.242	0.076	0.0	0.105	0.024	0.0	0.068	0.035	0.0	0.086	0.046	11.2	0.334	0.235
16	0.0	0.695	0.747	0.0	0.214	0.055	1.6	0.094	0.018	0.0	0.064	0.014	0.0	0.088	0.047	0.0	0.389	0.240
17	0.0	0.459	0.403	0.0	0.202	0.045	10.0	0.133	0.030	39.2	0.746	0.415	19.5	0.475	0.297	2.1	0.196	0.109
18	0.0	0.359	0.251	0.0	0.190	0.047	36.2	0.719	0.340	2.6	0.222	0.083	0.0	0.182	0.104	0.0	0.163	0.084
19	0.0	0.330	0.189	0.0	0.195	0.040	0.0	0.167	0.057	0.0	0.121	0.042	0.0	0.113	0.064	0.0	0.135	0.066
20	23.9	0.703	0.697	0.0	0.180	0.031	0.0	0.119	0.042	0.0	0.099	0.034	0.0	0.109	0.058	0.0	0.119	0.061
21	0.6	0.445	0.419	0.0	0.151	0.042	0.0	0.109	0.041	0.0	0.095	0.034	0.0	0.098	0.055	12.7	0.142	0.092
22	0.0	0.339	0.239	0.0	0.140	0.043	6.0	0.110	0.037	0.0	0.098	0.036	0.0	0.097	0.052	2.7	0.618	0.457
23	0.5	0.299	0.182	0.0	0.124	0.028	1.6	0.192	0.080	14.1	0.252	0.128	2.7	0.102	0.059	0.0	0.219	0.134
24	0.0	0.277	0.157	0.0	0.116	0.026	0.0	0.114	0.043	0.0	0.134	0.056	0.5	0.098	0.063	0.0	0.154	0.091
25	0.0	0.259	0.135	0.0	0.112	0.021	0.0	0.098	0.036	0.5	0.107	0.040	21.1	0.101	0.065	0.0	0.129	0.076
26	0.0	0.250	0.123	0.0	0.110	0.019	0.0	0.092	0.030	0.0	0.103	0.041	0.0	0.066	0.0430	0.0	0.107	0.067
27	0.0	0.244	0.111	0.0	0.104	0.020	0.0	0.088	0.027	0.0	0.107	0.039	0.0	0.214	0.121	0.0	0.096	0.062
28	0.0	0.235	0.100	0.0	0.104	0.025	0.0	0.087	0.024	6.8	0.135	0.071	18.1	0.138	0.071	18.1	0.348	0.305
29	0.0	0.233	0.099	0.0	0.108	0.033	1.0	0.092	0.026	0.0	0.106	0.050	0.0	0.122	0.061	0.0	0.487	0.408
30	0.0	0.229	0.094	3.5	0.132	0.033	25.0	0.464	0.252	0.5	0.095	0.038	0.0	0.113	0.058	26.3	2.256	2.108
31	0.0	0.219	0.085	1.2	0.113	0.021	0.0	0.090	0.037	0.0	0.090	0.037	0.0	0.113	0.058	0.0	0.557	0.575
合計 total	226.6	147.849	154.002	18.1	5.466	1.585	109.3	4.607	1.656	66.1	3.884	1.751	73.5	4.344	2.398	89.8	7.838	5.944

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量 (つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	2013年1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	項目 Item	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	露場 Meteorological station	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani
1	0.0	0.240	0.203	4.0	0.093	0.075	18.4	1.208	-1.751	0.0	0.134	0.172	0.0	0.128	0.119	0.6	0.046	0.021
2	0.0	0.170	0.132	0.0	0.100	0.084	0.0	1.134	-1.637	6.1	0.158	0.194	0.0	0.110	0.100	0.6	0.047	0.021
3	0.0	0.134	0.099	0.0	0.091	0.071	0.0	0.456	-0.680	0.0	0.149	0.179	0.0	0.103	0.090	0.0	0.042	0.018
4	0.0	0.116	0.089	10.3	0.244	0.218	0.0	0.294	0.430	0.0	0.124	0.147	0.0	0.092	0.082	0.0	0.038	0.014
5	0.0	0.105	0.084	2.2	0.186	0.184	0.0	0.211	0.285	0.0	0.117	0.130	0.0	0.086	0.066	0.0	0.034	0.012
6	0.0	0.101	0.078	4.9	0.336	0.378	0.0	0.175	0.225	12.8	0.289	0.326	0.0	0.081	0.056	0.0	0.032	0.010
7	0.0	0.097	0.073	0.0	0.271	0.314	0.0	0.158	0.190	6.4	0.692	0.979	0.0	0.075	0.049	0.0	0.029	0.010
8	0.0	0.094	0.071	0.0	0.196	0.205	0.0	0.150	0.164	0.0	0.419	0.763	0.0	0.068	0.045	0.0	0.027	0.009
9	0.0	0.091	0.068	0.0	0.166	0.157	0.0	0.132	0.139	0.0	0.280	0.448	0.0	0.064	0.043	0.0	0.029	0.009
10	0.0	0.084	0.066	0.0	0.147	0.132	0.0	0.118	0.119	0.0	0.210	0.299	6.8	0.086	0.065	0.0	0.029	0.009
11	0.0	0.082	0.066	0.0	0.126	0.109	0.0	0.104	0.099	0.0	0.164	0.217	2.3	0.087	0.074	0.0	0.027	0.008
12	0.0	0.081	0.066	5.5	0.123	0.108	0.0	0.100	0.093	0.0	0.140	0.174	0.0	0.075	0.058	0.0	0.025	0.008
13	5.7	0.082	0.068	0.0	0.140	0.130	13.3	0.199	0.199	0.0	0.127	0.148	0.0	0.062	0.042	0.0	0.024	0.007
14	21.9	1.939	2.567	0.0	0.117	0.107	0.0	0.231	0.266	1.5	0.126	0.139	0.0	0.057	0.042	0.0	0.025	0.006
15	0.0	0.493	0.794	7.8	0.210	0.214	0.0	0.159	0.193	0.0	0.121	0.125	0.0	0.056	0.036	31.2	0.240	0.145
16	0.0	0.259	0.310	0.0	0.189	0.208	0.0	0.144	0.165	0.0	0.107	0.111	0.0	0.052	0.032	0.0	0.073	0.038
17	0.0	0.185	0.199	0.0	0.164	0.173	0.0	0.133	0.144	0.0	0.104	0.103	0.0	0.049	0.029	0.0	0.039	0.019
18	0.0	0.142	0.141	14.4	0.674	0.852	21.0	1.285	1.729	0.0	0.100	0.096	0.0	0.048	0.028	0.0	0.035	0.014
19	0.0	0.113	0.117	1.1	0.697	1.084	0.0	1.011	2.126	0.0	0.085	0.085	11.3	0.095	0.073	90.2	3.264	2.835
20	0.0	0.100	0.101	0.0	0.379	0.533	0.5	0.476	0.870	11.6	0.112	0.114	0.0	0.073	0.055	86.0	20.462	59.041
21	8.3	0.120	0.124	0.0	0.253	0.319	0.0	0.289	0.478	1.1	0.165	0.185	0.0	0.053	0.035	25.3	9.425	21.826
22	1.1	0.204	0.221	0.0	0.199	0.233	0.0	0.221	0.330	0.0	0.108	0.111	0.0	0.046	0.029	0.0	3.639	5.348
23	0.6	0.168	0.179	0.6	0.172	0.187	0.0	0.183	0.258	1.6	0.099	0.097	0.0	0.042	0.024	0.6	0.816	1.009
24	0.0	0.153	0.148	0.0	0.143	0.150	0.0	0.153	0.210	22.9	0.978	1.324	0.0	0.038	0.020	1.8	0.313	0.380
25	0.0	0.137	0.121	0.0	0.125	-0.133	0.0	0.133	0.168	0.0	0.706	1.471	0.0	0.040	0.018	0.5	0.163	0.171
26	0.0	0.122	0.103	6.4	0.126	-0.135	0.0	0.110	0.140	0.0	0.339	0.586	0.0	0.040	0.018	82.5	55.206	81.321
27	0.0	0.114	0.092	0.6	0.177	-0.165	14.3	0.208	0.266	0.0	0.214	0.313	0.0	0.040	0.025	0.0	6.250	8.635
28	0.0	0.107	0.085	0.0	0.141	-0.142	0.6	0.291	0.443	0.0	0.157	0.199	3.6	0.045	0.029	0.5	1.172	1.296
29	0.0	0.101	0.082	0.0	0.141	-0.142	0.0	0.213	0.330	0.0	0.136	0.159	5.9	0.078	0.054	0.0	0.402	0.447
30	0.0	0.098	0.077	0.0	0.141	-0.142	0.0	0.169	0.247	4.8	0.148	0.154	0.0	0.060	0.035	0.0	0.196	0.197
31	0.0	0.095	0.073	0.0	0.141	-0.142	0.0	0.154	0.205	0.0	0.148	0.154	0.0	0.051	0.027	0.0	0.196	0.197
合計 total		37.6	6.127	6.697	57.8	5.985	(6.800)	68.1	10.002	(14.579)	68.8	6.808	9.548	29.9	2.080	319.8	102.149	182.884

※負値は Fig 4 に示す推定に基づく補完値であり、当該月の月合計は括弧書きとした。  
The negative value is complemented value based on the estimation as shown in Fig. 4 and the monthly total is denoted in parentheses.

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量(つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

項目 Item	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	露場 Meteorological station															
1	0.0	0.130	0.109	15.4	0.768	1.018	41.6	3.498	4.685	0.0	0.108	0.046	0.0	0.196	0.126	0.0	0.170	0.099
2	0.0	0.099	0.063	1.1	0.733	0.981	36.7	14.124	20.951	0.0	0.108	0.047	0.0	0.195	0.118	0.0	0.167	0.098
3	17.5	0.302	0.241	0.0	0.350	0.377	26.6	4.749	6.186	0.0	0.107	0.043	11.4	0.295	0.214	0.0	0.166	0.097
4	20.3	0.347	0.340	7.4	0.269	0.256	50.1	32.142	66.886	0.0	0.095	0.043	0.0	0.273	0.209	0.0	0.164	0.095
5	18.6	6.994	11.369	0.0	0.205	0.188	0.0	7.377	10.274	18.3	0.219	0.135	0.0	0.197	0.130	0.0	0.162	0.094
6	0.0	1.393	1.957	0.0	0.145	0.113	0.0	1.579	1.811	0.0	0.165	0.098	0.0	0.180	0.117	0.0	0.167	0.093
7	0.0	0.449	0.621	0.0	0.108	0.072	0.0	0.626	0.744	0.0	0.112	0.056	0.0	0.174	0.110	0.0	0.168	0.089
8	0.0	0.220	0.307	0.0	0.095	0.059	9.2	0.592	0.730	0.0	0.111	0.056	0.0	0.167	0.093	0.0	0.166	0.084
9	0.0	0.141	0.212	0.0	0.085	0.049	0.0	0.370	0.404	1.1	0.114	0.059	0.0	0.159	0.085	9.0	0.181	0.098
10	0.0	0.104	0.119	0.0	0.073	0.038	0.0	0.247	0.202	0.0	0.100	0.048	8.9	0.227	0.154	18.5	1.835	1.863
11	0.0	0.083	0.095	0.0	0.067	0.034	0.0	0.183	0.120	5.7	0.140	0.081	0.0	0.189	0.131	0.0	0.567	0.632
12	0.0	0.070	0.062	0.0	0.062	0.041	3.6	0.184	0.111	0.6	0.109	0.062	0.0	0.169	0.117	0.0	0.364	0.310
13	12.0	0.158	0.102	0.0	0.059	0.037	0.0	0.153	0.108	0.0	0.092	0.043	0.0	0.157	0.104	0.8	0.263	0.221
14	19.9	0.557	0.347	0.0	0.056	0.026	0.0	0.130	0.077	0.0	0.094	0.048	0.0	0.153	0.091	0.0	0.222	0.173
15	26.2	2.559	2.106	0.0	0.054	0.024	62.0	7.353	10.880	29.1	0.346	0.250	21.8	0.985	0.840	0.0	0.196	0.148
16	0.0	1.347	1.396	0.0	0.056	0.023	3.6	9.952	12.305	0.0	0.470	0.262	0.0	0.454	0.429	0.0	0.176	0.135
17	0.0	0.419	0.357	0.0	0.051	0.022	0.0	1.870	2.045	0.0	0.133	0.074	0.0	0.313	0.241	0.0	0.144	0.129
18	0.0	0.237	0.159	0.0	0.049	0.019	0.0	0.631	0.690	0.0	0.110	0.058	0.0	0.245	0.170	22.3	0.751	0.947
19	0.0	0.164	0.091	0.0	0.048	0.018	0.0	0.366	0.354	4.7	0.129	0.080	0.0	0.210	0.133	2.1	1.439	2.576
20	0.0	0.113	0.050	0.0	0.044	0.015	0.0	0.263	0.206	12.6	0.289	0.198	0.0	0.183	0.110	0.5	0.744	1.183
21	0.0	0.092	0.040	0.0	0.040	0.013	0.0	0.209	0.131	0.5	0.241	0.146	0.0	0.166	0.100	0.0	0.476	0.672
22	22.0	0.235	0.153	0.0	0.038	0.012	0.0	0.179	0.096	0.0	0.157	0.093	0.0	0.158	0.094	0.0	0.330	0.437
23	0.0	0.177	0.105	11.1	0.090	0.039	0.0	0.155	0.075	24.3	0.736	0.521	0.0	0.152	0.088	0.0	0.281	0.334
24	0.6	0.099	0.051	41.3	1.100	0.610	0.0	0.144	0.065	14.5	0.990	0.933	0.0	0.149	0.086	0.0	0.244	0.273
25	0.0	0.079	0.031	39.2	4.040	4.526	0.0	0.139	0.060	90.5	64.679	95.499	13.6	0.333	0.237	0.0	0.202	0.227
26	0.0	0.069	0.027	0.5	0.824	0.811	0.0	0.121	0.050	0.5	9.681	11.223	0.0	0.225	0.153	17.1	0.480	0.568
27	18.7	0.304	0.185	0.0	0.223	0.163	0.0	0.110	0.043	0.0	1.736	1.841	1.9	0.193	0.131	0.0	0.877	1.301
28	0.0	0.183	0.110	0.0	0.127	0.073	0.0	0.110	0.043	0.0	0.613	0.669	0.0	0.182	0.118	0.0	0.556	0.814
29	3.9	0.132	0.079	0.0	0.096	0.051	0.0	0.111	0.049	0.0	0.372	0.364	0.6	0.175	0.108	0.0	0.409	0.557
30	36.6	4.031	4.283	11.5	0.192	0.114	0.0	0.109	0.049	0.0	0.280	0.229	0.0	0.176	0.101	0.0	0.336	0.431
31	0.5	1.273	1.502	1.1	0.153	0.084	0.0	0.109	0.049	0.0	0.219	0.153	0.0	0.176	0.101	0.0	0.299	0.361
合計 total	196.8	22.560	26.669	128.6	10.300	9.906	233.4	87.776	140.430	202.4	82.855	113.458	58.2	7.030	4.938	70.3	12.702	15.139

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量 (つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月/ Month	2014年1~6月				5月/ May				6月/ June							
	1月/ January	2月/ February	3月/ March	4月/ April	降水量/ Precipitation	流出量/ Runoff	露場 Meteorological station	北谷 Kita-dani	南谷 Minami-dani	流出量/ Runoff	降水量/ Precipitation	露場 Meteorological station	北谷 Kita-dani	南谷 Minami-dani	流出量/ Runoff	
1	0.0	0.260	0.297	0.128	5.6	0.385	0.645	0.0	1.275	1.580	0.0	0.233	0.231	0.0	0.104	0.074
2	0.0	0.214	0.245	0.132	3.4	0.781	1.257	0.0	0.840	1.027	0.0	0.200	0.188	0.0	0.100	0.073
3	0.0	0.196	0.218	0.131	0.0	0.588	1.024	5.7	0.637	0.774	0.0	0.174	0.158	0.0	0.101	0.076
4	0.0	0.189	0.202	0.127	2.4	0.468	0.748	3.4	0.695	0.865	0.0	0.155	0.138	17.9	0.175	0.150
5	0.0	0.173	0.181	0.112	6.1	0.673	1.060	9.7	0.633	0.809	6.6	0.203	0.185	12.5	0.606	0.499
6	0.0	0.161	0.163	0.109	0.0	0.564	0.923	1.1	1.094	1.400	0.0	0.168	0.152	7.6	0.516	0.485
7	0.0	0.154	0.147	0.107	0.0	0.459	0.710	0.0	0.820	1.100	0.0	0.150	0.125	0.0	0.304	0.264
8	15.7	0.275	0.293	0.596	0.0	0.396	0.572	0.0	0.660	0.852	1.0	0.142	0.119	0.0	0.200	0.157
9	0.0	0.525	0.706	1.283	0.0	0.364	0.484	0.0	0.536	0.680	0.0	0.135	0.112	0.0	0.154	0.115
10	0.0	0.312	0.438	1.343	0.0	0.289	0.387	0.0	0.445	0.543	0.0	0.128	0.102	0.0	0.129	0.095
11	0.0	0.261	0.341	0.904	0.0	0.228	0.321	0.0	0.361	0.432	0.0	0.124	0.096	0.0	0.128	0.100
12	0.0	0.249	0.295	0.642	0.0	0.212	0.293	0.0	0.327	0.368	10.8	0.162	0.130	2.3	0.132	0.116
13	0.0	0.231	0.263	0.482	25.9	2.320	3.586	0.0	0.305	0.331	0.0	0.182	0.155	0.0	0.122	0.102
14	0.0	0.213	0.232	0.526	0.0	2.404	3.844	0.0	0.269	0.292	1.8	0.142	0.132	0.0	0.101	0.080
15	0.0	0.202	0.218	0.687	0.0	1.127	1.619	0.0	0.238	0.260	1.8	0.155	0.132	0.0	0.096	0.069
16	0.0	0.192	0.209	0.654	0.0	0.718	0.989	0.0	0.228	0.245	0.0	0.136	0.112	0.0	0.092	0.076
17	0.0	0.183	0.198	0.547	0.0	0.516	0.714	1.2	0.220	0.229	0.0	0.113	0.085	0.0	0.095	0.075
18	0.0	0.178	0.189	0.448	3.0	0.468	0.597	14.6	0.454	0.515	0.0	0.108	0.078	2.4	0.107	0.087
19	0.0	0.169	0.166	0.366	0.0	0.399	0.507	0.0	0.250	0.298	0.0	0.103	0.075	0.0	0.098	0.068
20	4.8	0.175	0.171	0.310	13.4	0.798	1.064	0.0	0.216	0.252	29.7	0.273	0.233	0.0	0.088	0.050
21	0.0	0.181	0.182	0.266	1.1	0.738	1.135	0.6	0.214	0.240	12.2	1.919	1.782	1.6	0.084	0.050
22	0.0	0.158	0.156	0.231	0.0	0.544	0.834	0.0	0.211	0.227	0.0	0.344	0.300	15.8	0.243	0.182
23	0.0	0.152	0.146	0.211	0.0	0.442	0.648	0.0	0.192	0.216	0.0	0.194	0.147	0.0	0.117	0.079
24	0.0	0.151	0.142	0.194	0.0	0.386	0.534	0.0	0.175	0.201	0.0	0.145	0.111	22.7	0.531	0.341
25	3.5	0.150	0.141	0.183	0.5	0.362	0.466	0.0	0.165	0.184	0.0	0.127	0.099	0.0	0.461	0.276
26	1.2	0.164	0.158	0.180	21.3	1.920	2.677	0.0	0.160	0.172	16.0	0.269	0.232	0.0	0.146	0.090
27	0.0	0.148	0.134	0.875	0.5	2.247	3.369	0.0	0.159	0.163	0.0	0.283	0.230	0.0	0.113	0.076
28	0.0	0.144	0.132	0.797	0.0	1.272	1.679	8.8	0.173	0.170	0.0	0.184	0.142	1.2	0.111	0.097
29	0.0	0.142	0.131	0.453	4.3	0.900	1.097	14.3	0.509	0.519	0.0	0.148	0.104	0.0	0.101	0.076
30	2.5	0.151	0.140	0.140	14.9	2.582	3.718	0.5	0.312	0.325	0.0	0.126	0.090	0.0	0.085	0.060
31	0.7	0.146	0.135	0.135	0.0	2.179	3.003	0.0	0.113	0.082	0.0	0.113	0.082	0.0	0.085	0.060
合計/ total	28.4	6.199	6.769	12.571	102.4	27.729	40.504	59.9	12.773	15.269	79.9	7.038	6.057	84.0	5.440	4.138

※負値は Fig 5 に示す推定水位に基づく補完値であり、当該月の月合計は括弧書きとした。  
The negative value is complemented value based on estimated water level as shown in Fig. 5 and the monthly total is denoted in parentheses.

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量(つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December			
	露場 Meteorological station	南谷 Minami- dani	北谷 Kita-dani	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	露場 Meteorological station	南谷 Minami- dani	北谷 Kita-dani	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	露場 Meteorological station	南谷 Minami- dani	北谷 Kita-dani	流出量 Runoff	降水量 Precipitation	露場 Meteorological station	南谷 Minami- dani	北谷 Kita-dani	流出量 Runoff
1	0.0	0.074	0.050	0.021	0.0	0.0	0.148	0.087	0.0	0.091	0.056	0.0	2.302	3.299	3.4	0.571	0.589	0.571	0.589
2	0.0	0.073	0.049	0.086	0.0	0.0	0.142	0.085	7.0	0.135	0.084	0.0	3.912	5.508	0.0	0.403	0.400	0.403	0.400
3	37.8	1.103	0.838	0.161	0.0	0.0	0.130	0.079	1.6	0.151	0.098	0.0	1.982	2.339	0.5	0.306	0.278	0.306	0.278
4	3.9	0.571	0.572	0.064	0.0	0.0	0.240	0.224	0.0	0.111	0.070	0.0	0.711	0.867	10.1	0.511	0.519	0.511	0.519
5	0.0	0.218	0.168	0.044	0.0	0.0	0.323	0.358	11.8	0.117	0.081	0.0	0.430	0.501	0.5	0.500	0.558	0.500	0.558
6	10.0	0.281	0.199	0.484	0.0	0.0	8.737	24.360	23.6	1.156	0.883	0.0	0.334	0.340	0.0	0.383	0.399	0.383	0.399
7	21.1	2.168	2.492	0.161	0.127	3.2	9.337	23.039	0.0	0.177	0.125	0.0	0.250	0.231	0.0	0.292	0.300	0.292	0.300
8	0.0	0.942	1.291	0.974	0.626	0.0	1.948	2.388	0.0	0.132	0.084	0.0	0.207	0.179	0.0	0.249	0.253	0.249	0.253
9	2.0	0.364	0.364	41.413	0.0	0.0	0.649	0.767	1.0	0.126	0.083	16.6	0.574	0.564	0.0	0.215	0.217	0.215	0.217
10	1.5	0.279	0.232	45.9	0.0	0.0	0.358	0.380	0.0	0.124	0.083	0.0	0.469	0.513	0.0	0.191	0.200	0.191	0.200
11	0.0	0.179	0.132	4.881	0.0	0.0	0.254	0.214	0.0	0.112	0.073	0.0	0.333	0.321	5.2	0.244	0.257	0.244	0.257
12	0.0	0.126	0.081	1.002	0.0	0.0	0.202	0.140	1.6	0.105	0.065	0.0	0.306	0.250	0.6	0.215	0.227	0.215	0.227
13	25.0	1.458	1.624	0.380	0.420	0.0	0.172	0.108	79.8	8.925	18.472	0.0	0.240	0.186	0.6	0.188	0.195	0.188	0.195
14	0.0	0.593	0.771	0.227	0.0	0.0	0.155	0.090	0.0	5.108	7.901	0.0	0.207	0.159	0.0	0.171	0.180	0.171	0.180
15	0.0	0.276	0.276	0.147	0.0	0.0	0.150	0.087	0.0	0.754	0.966	0.0	0.201	0.149	0.0	0.164	0.170	0.164	0.170
16	0.0	0.183	0.144	1.850	0.0	0.0	0.140	0.083	0.8	0.326	0.376	0.0	0.196	0.139	10.4	0.355	0.385	0.355	0.385
17	0.0	0.144	0.096	3.216	0.0	0.0	0.130	0.070	0.8	0.221	0.216	0.0	0.190	0.133	0.0	0.309	0.351	0.309	0.351
18	0.0	0.120	0.080	1.278	0.0	0.0	0.118	0.066	0.0	0.167	0.134	0.0	0.182	0.130	0.0	0.239	0.273	0.239	0.273
19	1.3	0.106	0.072	0.428	0.788	0.0	0.119	0.065	0.0	0.145	0.108	0.0	0.172	0.125	0.0	0.208	0.235	0.208	0.235
20	4.0	0.112	0.076	0.274	0.384	0.0	0.125	0.067	0.8	0.141	0.103	0.0	0.168	0.119	16.1	1.094	1.447	1.094	1.447
21	0.0	0.109	0.067	0.216	0.201	0.0	0.118	0.061	0.0	0.138	0.106	0.0	0.161	0.114	0.0	1.094	1.447	1.094	1.447
22	0.0	0.091	0.057	0.284	0.231	0.0	0.109	0.055	26.9	1.458	1.572	0.0	0.158	0.113	0.0	0.621	0.926	0.621	0.926
23	0.0	0.085	0.050	0.176	0.176	0.0	0.102	0.056	0.0	0.855	1.242	0.0	0.153	0.112	0.0	0.430	0.595	0.430	0.595
24	0.0	0.079	0.043	0.494	0.494	17.7	0.212	0.147	0.0	0.369	0.451	0.0	0.150	0.109	0.0	0.364	0.456	0.364	0.456
25	0.0	0.073	0.036	1.334	2.050	0.0	0.208	0.139	0.0	0.254	0.263	21.0	0.531	0.473	0.0	0.304	0.377	0.304	0.377
26	0.0	0.068	0.032	0.625	0.913	0.0	0.123	0.076	18.4	0.233	0.217	2.8	0.297	0.291	0.0	0.241	0.307	0.241	0.307
27	0.0	0.069	0.038	0.392	0.472	0.0	0.109	0.068	1.6	1.893	2.197	0.0	0.230	0.220	0.0	0.223	0.271	0.223	0.271
28	0.0	0.062	0.028	0.290	0.289	0.0	0.105	0.062	0.0	0.572	0.736	0.0	0.212	0.183	6.3	0.234	0.276	0.234	0.276
29	0.0	0.058	0.033	0.228	0.191	0.0	0.097	0.057	0.0	0.330	0.379	0.0	0.296	0.275	0.0	0.291	0.352	0.291	0.352
30	0.0	0.056	0.030	0.195	0.141	0.0	0.092	0.058	0.0	0.248	0.248	0.0	0.280	0.256	0.0	0.236	0.282	0.236	0.282
31	0.0	0.051	0.027	0.159	0.098	0.0	0.092	0.058	9.7	0.246	0.237	1.7	0.280	0.256	1.7	0.216	0.259	0.216	0.259
合計 total	106.6	10.171	10.048	264.3	79.347	125.419	24.852	53.536	185.4	24.920	37.709	79.4	15.834	18.198	55.4	11.015	13.307	11.015	13.307

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量 (つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	2015年1~6月				3月 March				4月 April				5月 May				6月 June							
	1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	11月 November	12月 December	1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	11月 November	12月 December
項目 Item	降水量 Precipitation	流出量 Runoff																						
日 day	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani																						
1	0.0	0.199	0.239	0.940	12.0	0.322	0.351	2.2	0.278	0.275	0.0	0.327	0.231	0.0	0.167	0.105								
2	0.0	0.180	0.215	0.741	0.6	0.305	0.356	0.0	0.259	0.258	0.0	0.309	0.214	2.6	0.166	0.106								
3	0.0	0.172	0.200	0.601	17.1	0.656	0.800	9.8	0.332	0.334	7.3	0.327	0.228	33.3	1.212	0.932								
4	0.0	0.171	0.198	0.522	0.0	2.001	3.318	7.1	0.544	0.733	0.6	0.348	0.252	0.0	0.307	0.207								
5	0.0	0.168	0.190	0.394	0.0	0.880	1.448	11.4	1.236	1.944	0.0	0.286	0.209	17.2	0.562	0.418								
6	6.9	0.241	0.275	0.317	0.0	0.572	0.844	7.1	1.060	1.884	0.0	0.260	0.187	0.5	0.525	0.403								
7	0.0	0.217	0.253	0.347	14.6	0.880	1.234	2.2	1.396	2.231	2.3	0.260	0.185	0.0	0.282	0.197								
8	0.0	0.190	0.227	0.266	0.0	1.770	2.847	6.0	1.282	1.960	0.0	0.250	0.182	18.8	0.435	0.338								
9	0.0	0.180	0.214	0.228	29.1	6.481	10.152	0.5	1.026	1.432	0.0	0.242	0.181	14.6	3.386	4.466								
10	0.0	0.172	0.202	0.212	0.0	7.842	8.901	48.3	17.639	19.975	0.0	0.244	0.181	0.0	0.912	0.945								
11	0.0	0.165	0.191	0.209	0.0	2.539	2.759	0.5	16.167	11.611	0.0	0.232	0.167	9.4	0.570	0.518								
12	0.0	0.149	0.175	0.226	0.0	1.268	1.485	0.5	3.608	3.233	24.3	0.621	0.505	1.0	0.627	0.617								
13	0.0	0.140	0.166	0.207	0.0	0.779	0.968	19.2	4.939	6.413	0.0	0.361	0.272	0.0	0.384	0.309								
14	0.0	0.138	0.165	0.175	4.8	0.603	0.786	1.6	4.597	4.812	4.4	0.309	0.219	0.0	0.300	0.213								
15	28.7	2.560	3.974	0.162	0.0	0.469	0.615	2.6	2.399	2.478	0.0	0.286	0.207	0.0	0.256	0.171								
16	0.0	1.779	3.150	0.158	0.0	0.419	0.522	0.0	1.354	1.483	21.1	1.388	1.186	3.7	0.239	0.163								
17	0.0	0.868	1.368	0.193	0.0	0.383	0.466	0.5	0.958	1.029	0.0	0.434	0.338	0.0	0.225	0.155								
18	0.0	0.530	0.814	0.173	19.3	0.863	1.134	0.0	0.695	0.730	17.1	0.481	0.365	27.4	0.637	0.533								
19	0.0	0.425	0.611	0.160	7.0	3.329	5.117	7.6	0.651	0.640	2.5	1.347	1.403	10.4	3.112	4.653								
20	0.0	0.320	0.455	0.148	0.0	2.935	3.769	18.4	1.704	2.016	1.4	0.515	0.404	0.0	1.344	1.856								
21	2.0	0.290	0.391	0.143	0.0	1.651	1.905	0.0	2.447	3.420	0.0	0.346	0.232	4.2	0.687	0.769								
22	4.0	0.397	0.533	0.187	0.0	1.052	1.201	0.0	1.423	1.668	0.0	0.282	0.184	0.0	0.426	0.419								
23	0.5	0.310	0.420	0.196	0.0	0.702	0.839	0.0	0.907	1.008	0.0	0.258	0.170	0.0	0.332	0.271								
24	0.0	0.253	0.347	0.174	0.0	0.505	0.619	0.0	0.689	0.709	0.0	0.250	0.165	0.0	0.271	0.189								
25	0.0	0.229	0.311	0.161	0.0	0.397	0.474	0.0	0.565	0.530	0.0	0.229	0.149	0.0	0.231	0.151								
26	21.5	0.838	1.102	0.155	0.0	0.356	0.410	0.0	0.474	0.413	0.0	0.210	0.137	57.7	10.204	14.628								
27	0.0	2.321	3.813	0.146	0.0	0.346	0.378	0.0	0.426	0.347	0.0	0.199	0.127	0.0	5.034	5.511								
28	0.0	1.183	1.807	0.137	0.0	0.339	0.351	0.0	0.401	0.306	0.0	0.195	0.122	0.0	1.319	1.335								
29	0.0	0.721	1.041	0.137	0.0	0.338	0.341	0.0	0.383	0.283	0.0	0.190	0.120	0.0	0.580	0.543								
30	9.3	0.872	1.278	0.148	2.5	0.303	0.306	0.0	0.354	0.255	1.3	0.188	0.117	10.4	0.468	0.385								
31	0.0	0.811	1.242	0.148	0.0	0.274	0.276	0.0	0.274	0.276	0.0	0.190	0.121	0.7	0.190	0.121								
合計 total	72.9	17.189	25.567	8.629	107.0	41.359	54.972	145.5	70.193	74.410	83.0	11.364	8.760	211.2	35.200	41.506								

Table 2. 竜ノ口山森林理水試験地における日降水量および日流出水量 (つづき)  
Daily precipitation and runoff in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed.(continued)

月 Month	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precipitation	流出量 Runoff	露場 Meteorological station															
項目 Item	南谷 Minami-dani	北谷 Kita-dani	北谷 Kita-dani															
日 day	20.7	3.931	5.390	0.0	0.294	0.147	27.0	3.820	4.636	26.7	0.475	0.350	1.6	0.142	0.097	0.0	0.174	0.126
1	0.0	2.119	2.403	0.0	0.279	0.137	0.5	1.479	1.669	3.1	1.635	1.848	17.2	0.344	0.265	6.5	0.178	0.131
2	0.0	0.847	0.858	0.0	0.271	0.133	0.0	0.529	0.473	0.0	0.484	0.458	0.0	0.157	0.117	16.9	1.451	1.676
3	15.6	0.844	0.946	0.0	0.265	0.126	1.1	0.358	0.285	0.0	0.324	0.252	0.0	0.155	0.105	0.5	0.489	0.597
4	1.1	1.432	1.978	0.0	0.258	0.121	0.5	0.280	0.195	0.0	0.274	0.182	0.0	0.153	0.102	0.0	0.323	0.325
5	0.0	0.916	1.073	0.0	0.247	0.112	36.2	3.924	5.458	0.0	0.253	0.159	0.0	0.149	0.101	0.0	0.265	0.235
6	13.8	1.453	1.784	0.0	0.237	0.106	0.0	2.702	3.468	0.0	0.225	0.136	2.8	0.149	0.112	0.0	0.233	0.196
7	0.5	1.667	2.142	0.0	0.233	0.099	23.7	1.120	1.323	0.0	0.209	0.127	5.6	0.220	0.158	0.0	0.206	0.172
8	1.0	1.070	1.234	0.0	0.228	0.095	7.5	4.449	7.021	0.0	0.201	0.127	6.2	0.233	0.166	0.0	0.199	0.162
9	0.0	0.697	0.745	0.6	0.237	0.106	0.5	1.777	1.971	0.0	0.195	0.118	0.6	0.203	0.129	11.6	0.222	0.191
10	0.0	0.503	0.463	0.0	0.243	0.117	0.0	0.756	0.744	0.0	0.192	0.117	0.0	0.181	0.107	36.0	11.558	16.594
11	0.0	0.421	0.326	8.0	0.262	0.147	0.0	0.453	0.396	0.0	0.184	0.109	0.0	0.180	0.099	0.0	2.841	3.447
12	0.0	0.361	0.241	1.8	0.290	0.164	0.0	0.333	0.240	0.0	0.181	0.103	18.6	0.348	0.221	0.0	1.028	1.319
13	0.0	0.304	0.179	0.0	0.243	0.182	0.0	0.263	0.163	0.0	0.173	0.096	42.8	3.834	3.842	0.0	0.618	0.774
14	0.0	0.275	0.150	0.0	0.210	0.183	0.0	0.238	0.135	0.0	0.170	0.098	0.5	1.542	2.105	2.6	0.488	0.574
15	6.8	0.319	0.184	0.0	0.203	0.211	1.1	0.235	0.134	0.0	0.170	0.098	0.0	0.450	0.448	0.5	0.412	0.442
16	149.1	114.561	124.957	26.4	0.580	0.412	17.9	0.608	0.507	0.0	0.166	0.097	23.2	2.019	2.542	0.0	0.333	0.336
17	1.1	24.425	20.740	0.0	0.281	0.162	0.0	0.329	0.230	0.0	0.166	0.093	22.7	5.323	8.138	0.0	0.284	0.270
18	0.0	2.819	2.312	2.1	0.238	0.137	0.0	0.264	0.157	0.0	0.163	0.092	0.0	4.259	5.573	0.0	0.263	0.237
19	0.0	1.142	0.957	14.3	0.561	0.298	0.0	0.239	0.132	0.0	0.162	0.086	0.0	1.063	1.281	0.0	0.251	0.221
20	0.0	0.719	0.561	4.1	0.369	0.190	0.0	0.232	0.120	0.0	0.154	0.091	0.0	0.481	0.558	11.1	0.451	0.460
21	7.4	0.592	0.408	0.0	0.266	0.126	0.0	0.216	0.115	0.0	0.147	0.086	0.0	0.320	0.338	0.0	0.371	0.405
22	9.1	0.938	0.882	0.0	0.214	0.103	0.0	0.201	0.109	0.0	0.148	0.089	0.0	0.276	0.239	12.3	0.647	0.723
23	0.6	0.585	0.491	0.0	0.200	0.102	27.1	0.827	0.697	0.0	0.149	0.091	0.0	0.241	0.187	0.6	1.014	1.419
24	0.0	0.465	0.326	31.0	1.120	0.643	3.7	0.909	0.914	0.0	0.140	0.083	3.6	0.219	0.178	0.0	0.724	0.927
25	0.0	0.390	0.235	0.0	0.566	0.314	0.0	0.483	0.426	0.0	0.139	0.082	0.0	0.215	0.173	0.0	0.507	0.607
26	0.0	0.370	0.206	0.0	0.272	0.135	0.0	0.325	0.234	6.6	0.165	0.108	0.0	0.197	0.148	0.0	0.398	0.450
27	13.1	0.507	0.309	0.0	0.227	0.112	0.0	0.256	0.163	0.0	0.162	0.106	0.0	0.179	0.134	0.0	0.335	0.365
28	0.0	0.426	0.260	13.1	0.238	0.128	0.0	0.217	0.128	0.0	0.149	0.140	0.0	0.177	0.129	0.0	0.301	0.317
29	0.0	0.354	0.190	10.0	1.126	0.834	0.0	0.206	0.116	0.0	0.140	0.110	0.0	0.176	0.128	0.0	0.283	0.288
30	0.0	0.316	0.163	14.1	0.721	0.518	0.0	0.134	0.102	0.0	0.134	0.102	0.0	0.134	0.102	0.0	0.274	0.268
合計 total	239.9	165.768	173.093	125.5	10.979	6.400	146.8	28.028	32.359	36.4	7.629	5.834	145.4	23.585	27.920	98.6	27.121	34.254

## 謝辞

独法化以降、竜ノ口山を含む長期理水試験地の観測は、森林総合研究所の基盤事業に位置付けられ、日々の観測を支える予算措置がなされてきた。その額は年間必要額のおよそ半分程度で経過してきたが、2013年度に突然前年度の1/6以下に削減された。この結果、竜ノ口山では観測体制の再構築を余儀なくされた。その後、基盤事業予算の増額を図り、プロジェクト課題の獲得に努めるなどで、観測の継続と精度の維持は下支えされた。この経過の中で果たされた関係者の努力にまずは感謝申し上げたい。本報期間も概ね森林総合研究所の運営費交付金を基本的な原資とし、JSPS科研費JP23221009(代表：京都大学・谷誠教授(当時))の助成も受けて実施することができた。また本報を取り纏めるにあたっては、環境省地球環境保全等試験研究費(農1942)によっても一部支援された。実施体制としては、水位計自記紙の読取りを2013年9月まで宇野典子氏、同年11月以降は近藤憲子氏にして頂いた。毎年初夏～晩夏にかけての山麓露場刈払等は、近口貞介氏・楢山真司氏を中心に引き続きご尽力頂いた。現地の定期的な巡視は、一般競争入札により2014年度まで岡山県森林組合連合会に、2015年度はカリア合同会社(当時)にして頂いた。また、竜ノ口山国有林担当の歴代森林官、大町真夫氏、窪田武氏、小原富夫氏、および南谷堰堤土砂浚渫工事の際には岡山森林管理署・林博文氏、神田秀郎氏ほかの皆様のお世話になった。「龍ノ口グリーンシャワーの森」を守る会の大橋弘司氏には、山域来訪者への工事等の情報伝達にご協力頂いた。そのほか、本観測において水位計自記記録紙および自記ペンを提供し続けて頂いていることへの貢献は大きい。なお、獣糞の鑑定は石橋靖幸氏と瀬川也寸子氏にして頂いた。植物の学名はYList(米倉・梶田2003-)の標準名に基づく。動物の学名は内田(1950)などを参考にした。

## 引用文献

中国地方整備局(2010) 渇水対策本部の設置について。お知らせ, 6pp.  
 デレーケ, ヨハネス(1891) 水源涵養法施行緊急ノ主意(承前)。治水雑誌, 8, 2-7.  
 藤森 隆郎(2006) 森林生態学 持続可能な管理の基礎。全国林業改良普及協会, 484pp.  
 後藤 義明・玉井 幸治・深山 貴文・小南 裕志・細田育広(2006) 竜ノ口山森林理水試験地における広葉樹二次林の階層構造に及ぼす攪乱の影響。森林総合研究所研究報告, 5(3), 215-225.  
 細田 育広(2013a) 基盤事業：森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地一。森林総合研究所関西支所年報, 53, 37.  
 細田 育広(2013b) 基盤事業：森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地一。森林総合研究所関西支所

年報, 54, 35.

細田 育広(2014) 基盤事業：森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地一。森林総合研究所関西支所年報, 55, 35.  
 細田 育広(2015) 基盤事業：森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地一。森林総合研究所関西支所年報, 56, 35.  
 細田 育広(2016) 基盤事業：森林水文モニタリングー竜ノ口山森林理水試験地一。森林総合研究所関西支所年報, 57, 35.  
 細田 育広(2022) 山の歴史と野生との攻防。「砂防の観測の現場を訪ねて」出版プロジェクト委員会編「砂防の観測の現場を訪ねて3～水の動きの不思議～」。砂防学会, 103.  
 細田 育広・阿部 敏夫(2012) 観測の現場を訪ねてー33 森林総合研究所 竜ノ口山森林理水試験地。砂防学会誌, 65(2), 56-60.  
 細田 育広・小南 裕志・深山 貴文・岡野 通明・後藤 義明(2019) 竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2006年1月～2010年12月)。森林総合研究所研究報告, 18(1), 111-128.  
 細田 育広・村上 亘・Roy C. Sidle(2007) 水位計自記紙の記録解像度が流出水量の値に及ぼす影響について。水文・水資源学会誌, 20(6), 505-518.  
 細田 育広・谷 誠(2016) 古生層堆積岩小流域の厚い風化基岩層における水分変動が降雨流出応答に及ぼす影響。地形, 37(4), 465-492.  
 一方井 誠治(2014) 「水循環基本法」の成立について。環境イノベーション情報機構ホームページ, <https://www.eic.or.jp/library/pickup/232/>, (参照 2022-12-23).  
 岸岡 孝・藤枝 基久(1984) 各種地文条件が洪水流出に及ぼす影響 寡雨地帯。山地崩壊及び洪水発生危険地区判定法の確立, 農林水産技術会議事務局研究成果, 157, 123-130.  
 気象庁(2022a) 平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震。 [https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/2011\\_03\\_11\\_tohoku/index.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html), (参照 2022-12-23).  
 気象庁(2022b) 過去の気象データ・ダウンロード。 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, (参照 2022-12-23).  
 気象庁(2022c) 災害をもたらした気象事例(平成元年～本年)。 [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index\\_1989.html](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html), (参照 2022-12-23).  
 国土交通省(2022) 流域治水関連法。 [https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki\\_hoan/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_hoan/index.html), (参照 2022-12-23).  
 小杉 賢一郎(2007) 森林の水源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価。水文・水資源学会誌, 20(3), 201-213.  
 丸山 岩三(1994) 奈良時代の奈良盆地とその周辺諸国の森林状態の変化(VI)。水利科学, 38(2), 83-112.

- 松浦 茂樹 (2008) 明治43年水害と第一次治水長期計画の策定. 国際地域学研究, 11, 149-173.
- 三好 規正 (2022) 気候変動時代における実効的な流域治水と自治体の役割. 自治総研, 519, 1-30.
- 内閣官房水循環政策本部事務局 (2022) 水循環基本法. [https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu\\_junkan/about/basic\\_law.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu_junkan/about/basic_law.html), (参照 2022-12-23).
- 中野 秀章 (1976) 森林水文学. 共立出版, 3-8.
- 農林省編 (1934) 日本林制史資料豊臣時代以前篇. 朝陽会, 670pp.
- 農林省林業試験場 (1961) 森林理水試験地観測報告. 225pp.
- 岡山地方気象台 (2011a) 岡山県の気象平成23年 (2011年) 5月. 38pp.
- 岡山地方気象台 (2011b) 岡山県の気象平成23年 (2011年) 9月. 42pp.
- 岡山地方気象台 (2013a) 岡山県の気象平成25年 (2013年) 6月. 37pp.
- 岡山地方気象台 (2013b) 岡山県の気象平成25年 (2013年) 9月. 38pp.
- 太田 猛彦 (2012a) 第1章 治山事業の歴史と展望. 塚本良則・太田 猛彦・前田 直登・辻 健治・山田 壽夫編“治山事業百年史”. 日本治山治水協会, 1-36.
- 太田 猛彦 (2012b) 森林飽和: 国土の変貌を考える. NHK ブックス, 254pp.
- 鈴木 雅次・藤村 重任・中安 米蔵・大沢 豊・梶野 康行・武井 篤・武藤 博忠 (1960) 第1期治水事業開始50周年に当って. 水利科学, 4(2), 100-122.
- 高島の風土記研究会編 (2009) 高島の風土記第三部歴史ゆたかな文化財. 岡山市立高島公民館, 83-84.
- 武田 繁後 (1942) 龍ノ口山水源涵養試験第一回報告. 農林省山林局, 215pp.
- 谷 誠・細田 育広 (2012) 長期にわたる森林放置と植生変化が年蒸発散量に及ぼす影響. 水文・水資源学会誌, 25(2), 71-88.
- 内田 清之助編著 (1950) 日本動物図鑑第3版. 北隆館, 1898pp.
- 海野 修司・山田 正 (2021) 流域ガバナンスの生成・進化要因に関する実証的研究. 水利科学, 64(6), 38-61.
- 渡邊 悟 (2012) 明治の大水害と森林法の成立並びに治山事業の開始 (治山事業100年を迎えて) —後篇—. フォレストコンサル, 129, 49-54.
- 山田 正 (2003) 山地流出の非線形性に関する研究. 水工学論文集, 47, 259-264.
- 米倉 浩司・梶田 忠 (2003-) BG Plants 和名-学名インデックス (YList). <http://ylist.info>, (参照 2022-12-23).

## Hydrological observation reports in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed (January 2011 – December 2015)

Ikuhiro HOSODA<sup>1)\*</sup>

### Abstract

We provide observational results of precipitation and runoff from 2011 to 2015 in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed (34°42'N, 133°58'E) of the Kansai Research Center of the Forestry and Forest Products Research Institute. The experimental site belongs to the Seto Inland Sea Climate, and consists of a pair of adjacent watersheds, the Minami-dani and Kita-dani watersheds. Most of the area of the experimental site is underlain by Paleozoic sedimentary rocks, except the lowest downstream area and the right bank slope of Kita-dani, which is underlain by igneous rocks, mainly consisting of quartz-porphyry. The average annual precipitation from 1981 to 2010, which was 1181.2 mm, was taken as the normal value. The normal annual runoff summed with the normal monthly runoff was 355.1 mm in Minami-dani and 353.8 mm in Kita-dani. During the reporting period, the distribution of vegetation was the same as in 2010, but the growth of trees planted in 2006 on the left bank of the middle stream of Minami-dani was notable. Annual precipitation fluctuated biyearly around the normal value, with values greater than 250 mm and a mean value of 1355.8 mm. Typhoon No. 12 (TALAS) and No. 15 (ROKE) in 2011, and a seasonal rain front and Typhoon No. 17 (TORAJI) in 2013 caused high levels of precipitation. Dredging of the gauging weirs was performed at Kita-dani in late February 2013 and at Minami-dani in mid-February 2014. Runoff during dredging is shown as estimated values. The mean runoff values and runoff rates were estimated to be 395.7 mm and 29.2%, respectively, in Minami-dani, and 499.9 mm and 36.9%, respectively, in Kita-dani.

**Key words :** daily runoff, daily precipitation, parallel catchments, Paleozoic accretionary prism, temperate and low precipitation climate

---

Received 24 January 2023, Accepted 13 April 2023

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

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

## 訂 正 (Erratum)

森林総合研究所研究報告 Vol. 17-No. 3 (No. 447) p.265–272 の補足電子資料Table S2に誤りがありました。下記のとおり訂正します。

500～501行

誤：499	496	54	6.9	20.1	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	11.5	
10.5	13.1	13.0	14.4	12.4	16.4						
500	496	54	6.8	20.3	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	16.4	6.1
15.8	7.0	17.8	11.2	20.7							
正：499	499	54	6.9	20.1	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	11.5	
10.5	13.1	13.0	14.4	12.4	16.4						
500	499	54	6.8	20.3	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	16.4	6.1
15.8	7.0	17.8	11.2	20.7							

Errors appeared in the electronic supplementary material Table S2 of p. 265–272 of Vol. 17-No. 3 (No. 447) of this journal:

Lines 500–501

Incorrect：499	496	54	6.9	20.1	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	11.5	
10.5	13.1	13.0	14.4	12.4	16.4						
500	496	54	6.8	20.3	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	16.4	6.1
15.8	7.0	17.8	11.2	20.7							
Correct：499	499	54	6.9	20.1	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	11.5	
10.5	13.1	13.0	14.4	12.4	16.4						
500	499	54	6.8	20.3	Salix caprea	バッコヤナギ	1993	2009	9.6	16.4	6.1
15.8	7.0	17.8	11.2	20.7							

担当者様

To the person concerned

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute

「森林総合研究所研究報告」を送付させていただきますのでお受け取り下さい。

冊子版の発行は今号で終了し、次号からはオンライン版のみの発行となります。

オンライン版は当研究所サイトの下記 URL からダウンロードできます。

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

ご不便をおかけしますが、ご理解のほどよろしく申し上げます。

Please, find an enclosed Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute.

After the current issue, the Bulletin of FFPRI will be only available online.

Please visit the following URL: <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/bulletin-en.html>

The printed version ends with this issue.

Officer in charge at publication section  
Forestry and Forest Products Research Institute  
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN  
Tel : + 81-29-829-8373 Fax : + 81-29-873-0844  
E-mail : [kanko@ffpri.affrc.go.jp](mailto:kanko@ffpri.affrc.go.jp)

---

2023年6月30日発行 森林総合研究所研究報告 第22巻2号(通巻466号)

編集人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発行人 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地  
電話：029-829-8373 Fax：029-873-0844

印刷所 株式会社デジタル印刷  
〒300-3262 茨城県つくば市蓮沼1322-1

©2023 Forestry and Forest Products Research Institute

---

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。

# 森林総合研究所研究報告

Vol. 22 No. 2 (No. 466)



## ■ 論文

▽グラップルソーを用いた広葉樹造材における生産性

鈴木 秀典、中澤 昌彦、伊藤 崇之、山口 智、岡子 光太郎

Productivity of hardwood processing using a grapple saw

Hidenori SUZUKI, Masahiko NAKAZAWA, Takayuki ITO, Satoshi YAMAGUCHI and Kotaro ZUSHI

▽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

—森林降水溪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、古澤 仁美、岡本 透、玉井 幸治、平野 恭弘

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, Hitomi FURUSAWA, Toru OKAMOTO, Koji TAMAI and Yasuhiro HIRANO

## ■ ノート

▽台湾ンタケクマバチの青竹への穿孔

神崎 菜摘、藤森 友太、濱口 京子

Boring of *Xylocopa tranquebarorum* into fresh bamboo

Natsumi KANZAKI, Yuta FUJIMORI and Keiko HAMAGUCHI

## ■ 研究資料

▽北海道支所実験林内の 14 成長期経過林分におけるシラカンバの年輪データ

伊東 宏樹、中西 敦史

Tree growth ring data of *Betula platyphylla* var. *japonica* obtained in a 14-year-old stand at the experimental forest of the Hokkaido Research Center, FFPRI

Hiroki ITÔ and Atsushi NAKANISHI

▽徳島県「大里松原」海岸林におけるクスノキ成木の 30 年間の肥大成長過程

—隣接個体と気象条件の影響—

大谷 達也

The thickening growth process of *Cinnamomum camphora* trees during 30 years in Ozato coastal forest, Tokushima, Shikoku Island

—effects of the nearest neighbor and climate conditions—

Tatsuya OTANI

▽竜ノ口山森林理水試験地観測報告 (2011 年 1 月～2015 年 12 月)

細田 育広

Hydrological observation reports in the Tatsunokuchi-yama Experimental Watershed (January 2011–December 2015)

Ikuhiro HOSODA

