

目 次

論 文

林業における外国人労働力の受入れ過程 ―愛媛県を事例に― 田中 亘	331
--	-----

酵素反応とビーズミルを用いた湿式粉碎による食素材への適用を 目指したタケからのセルロースナノファイバー製造 下川 知子、池田 努、眞柄 謙吾、戸川 英二、中村 雅哉、 大塚 祐一郎、野尻 昌信、高尾 哲也、小川 睦美、 中山 榮子、林 徳子	341
--	-----

液体窒素凍結保存がマツタケの菌糸伸長および菌根形成能に与える影響 小長谷 啓介、山中 高史	349
--	-----

ノート

クロトリュフ宿主としてのコナラおよびアカマツ実生の生育に アルカリおよびカリウム添加が及ぼす影響 古澤 仁美、仲野 翔太、山中 高史	357
--	-----

研究資料

スギミニチュア採種園の土壌性状 ―採種園造成・管理における施肥基準策定のための基礎情報― 小野 賢二、竹田 宣明、宮本 尚子	361
--	-----

宝川森林理水試験地観測報告

一本流・初沢試験流域― (2001 年 1 月～ 2010 年 12 月) 久保田 多余子、野口 正二、清水 貴範、阿部 俊夫、 清水 晃、壁谷 直記、延廣 竜彦、飯田 真一、玉井 幸治、 村上 茂樹、澤野 真治、坪山 良夫	373
--	-----

Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute
Vol.19 No.4 (No.456) December 2020

CONTENTS

Original article

- Process of the new acceptance of foreign workers to forestry
-A case study of Ehime Prefecture-
Wataru TANAKA331
- Cellulose nanofiber production from bamboo by enzymatic pretreatment for wet
milling process using bead mill aiming at application to food materials
Tomoko SHIMOKAWA, Tsutomu IKEDA, Kengo MAGARA,
Eiji TOGAWA, Masaya NAKAMURA, Yuichiro OTSUKA,
Masanobu NOJIRI, Tetsuya TAKAO, Mutsumi OGAWA,
Eiko NAKAYAMA and Noriko HAYASHI341
- Effect of frozen storage with liquid nitrogen on the abilities of mycelial growth
and ectomycorrhizal formation of the strains of *Tricholoma matsutake*
Keisuke OBASE and Takashi YAMANAKA349

Note

- Effects of addition of an alkali agent and potassium chloride on the growth
of oak and pine seedlings as hosts for *Tuber himalayense*
Hitomi FURUSAWA, Shota NAKANO and
Takashi YAMANAKA357

Research record

- Soil properties and morphology in miniture Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*
(Thunb.)) seed orchards
Kenji ONO, Nobuaki TAKEDA and
Naoko MIYAMOTO361
- Statistical report of hydrological data from TAKARAGAWA experimental
watershed.
- HONRYU and SHOZAWA watershed (January, 2001 to December, 2010) -
Tayoko KUBOTA, Shoji NOGUCHI, Takanori SHIMIZU,
Toshio ABE, Akira SHIMIZU, Naoki KABEYA, Tatsuhiko
NOBUHIRO, Shin'ichi IIDA, Koji TAMAI, Shigeki
MURAKAMI, Shinji SAWANO and
Yoshio TSUBOYAMA373

論文 (Original article)

林業における外国人労働力の受入れ過程 — 愛媛県を事例に —

田中 亘^{1)*}

要旨

日本国内における生産年齢人口の減少のもと、多くの産業で外国人労働力の受入れが進められている。しかし、実績は多くないものの林業でも外国人労働力を受入れしようとする動きが近年は見られるようになってきた。本研究はそういった動きに着目して、外国人労働力の受入れに関わる制度を整理し、愛媛県が実施しているモデル事業の成果と課題について考察した。制度面に関して、技能実習生の受入れのためには技能検定制度の整備が不可欠であること、それを目的として林業技能向上センターが2019年に設立されたこと、ただし目標実現までには5年程度の時間を要することが明らかになった。課題として、その間の組織の拡充と情報発信の強化が必須であると考えられる。愛媛県の事例からは、技能実習生は技能修得と並んで日本文化の体験や得られる賃金に多く期待していること、受入れ企業は技術指導面での負担が大きいと感じる一方、経済面での負担が少なくなることが明らかになった。また、モデル事業における受入れ期間は1年間であるため、海外への技能移転に関しては成果が限定的な状況といえる。

キーワード：林業労働力、外国人労働者、技能実習制度、愛媛県

1. 研究の背景と位置づけ

1.1. 国内の労働力概況と外国人受入れ

日本国内の生産年齢人口は少子高齢化の進展により減少を続けており、労働力不足が今後より深刻な状況となることが強く懸念されている（内閣府 2019）。労働力不足を踏まえて、高齢者や女性を労働力として迎え入れることで緩和しようとしてきたものの、減少をとどめるには至っていない。また、その一方では外国人を日本国内へ迎え入れることで労働力を補おうとする動きが活発化している。

こうした外国人の活用によって日本国内の労働力不足を緩和しようとする動きは、1990年の出入国管理法改正により本格化した。法改正によって、不法就労に対する罰則が強化されたのと同時に日系人の入国規制の緩和が実施されたため、多くの現場で日系人の就労が見られるようになった。その状況を受けて、中村ら（2009）は外国人の雇用が必ずしも日本人の賃金を低下させるものでないこと、一方で国内の産業構造の高度化を阻む要因となることを実証的に明らかにした。丹野（2007）は日系人の就労は製造業におけるブルーカラーの現場作業の労働需要を満たしたと評価する一方、不安定な非正規雇用、あるいは請負業態による就労が多いことから労働市場の調整弁として利用されているとして批判した。実際、2008年に発生したリーマンショックの余波から、仕事を

失って本国へ帰国した日系人は10万人を超えたと報告される（濱田 2016）。

その後、景気が安定してきたことと生産年齢人口の減少が本格的に進んできたことから、2010年以降外国人労働力に依存する状況はより一般化した。2010年代においては技能実習制度が拡充されてきたことにより、多くの職種で外国人が技能実習生として雇用されるようになった。これらの技能実習生は日系人と異なり日本での在留期間が限定されているため、日系人とは別の労働市場を形成していると考えられる（依光 2003、上林 2015）。国際研修協力機構（2013、2014）や労働政策研究・研修機構（2016a）によれば、帰国後の就労において日本で修得した技能が役に立ったという調査結果が示されるが、一方で飯田（2017）や岩下（2018）など帰国後に役に立つ事例は限定的であるという報告もあり、技能実習制度の評価は一定していない¹⁾。

厚生労働省「外国人雇用状況」の届出状況まとめによれば、2019年10月時点の外国人労働者数は166万人であり、過去最高を更新している（厚生労働省 2019a）。そのうち技能実習制度を利用した就業者は38万人であり、全体の約4分の1を占める。農業および漁業でも技能実習制度は活用されており、実習生数（2019年3月時点）は農業39千人、漁業4千人となっている（外国人技能実習機構 2019）²⁾。こうした技能実習生を雇用する農家

原稿受付：令和2年4月23日 原稿受理：令和2年7月7日

1) 森林総合研究所 林業経営・政策研究領域

* 森林総合研究所 林業経営・政策研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

にあっては規模の拡大傾向が顕著である一方、「外国人技能実習生をなしに野菜産地は成り立たない」というような依存実態が生じていることも報告されている（堀口 2017）。軍司（2017）は農業協同組合が監理団体となる場合、「技能実習生の受入れによって管内の農業が振興されれば、購買事業や販売事業での増額が見込めるため」、「安価に充実した監理体制を敷くことができる」と述べ、監理団体の性質によって監理費が大きく異なる状況を示している。また、漁業でも漁業協同組合が監理団体となる例が示される（三輪 2017）。

1.2. 林業における外国人労働力受入れ

「国勢調査」によれば、2015 年における林業での外国人労働者数は 148 人と推計される（総務省 2017）³⁾。全体に占める割合は非常に小さく、上記の技能実習生を多数受入れてきた職種と林業とでは、これまで異なる動きを見せてきたといえる。その直接的な理由として、林業が実習期間を 1 年に限定される技能実習 1 号職種のみの指定にとどまるため、つまり制度的な制約があることが挙げられる。農業や漁業のように最大 5 年間まで認められる技能実習 2 号への移行対象職種との差は大きい。

他方、林業労働力の確保施策としては、2003 年に「緑の雇用担い手育成対策事業」（以下、「緑の雇用」）が開始され、積極的に展開されてきた。現状では、主に国内の若年者を対象とする「緑の雇用」が労働力確保の柱となっており、それによって若年者の割合が増加するなど一定の成果が上がっている（林野庁 2019）。さらに近年、「緑の雇用」は人材確保にとどまらず生産性向上にも資する人材育成施策として、より充実した内容へ進化している（三木 2018）。

上記の通り、林業における外国人労働力の受入れに関する議論は最近まで低調であり、そういった動きはこれまで例外的であった。少ない事例から田中（2016）では、日系ブラジル人が森林組合の専属請負で就労する実態を取り上げ、労働時間などについて一定の裁量を持ちながら就労していること、その一方で言葉の理解力によって施業内容に制約が生じていることを報告した。また田中（2019）では、外国人が国籍にかかわらず「緑の雇用」の研修生として技能向上を図っていた事例に関して、言葉の制約がやはり施業内容の制約につながっていることを報告した。こういった状況ながら、林業事業体において技能実習制度を活用して外国人を雇用する動きが愛媛県でモデル事業として始まり、また林業を技能実習 2 号への移行対象職種として認定されることを目指した動きも現れている（日本林業調査会 2018a）。

1.3. 研究の目的と方法

本研究はこれらの動向に着目して、林業における外国人労働力の受入れの意義と課題について考察することを目的とする。次節では、外国人技能実習制度の現状と林

業が技能実習 2 号への移行対象職種となるまでの条件について整理する。次々節では、愛媛県において 2018 年より取り組まれている「林業担い手受入れモデル事業（以下、モデル事業）」を事例として取り上げ、成果を明らかにする。上記を踏まえて最後に、林業における外国人労働力の受入れの意義、および本格的受入れまでに整備すべき要件などについて考察する。

技能実習制度に関しては主に文献資料調査、一部で関係者による聞き取り調査を実施した。愛媛県の事例に関しては 2018 年 4 月から 2019 年 10 月にかけて、愛媛県庁、愛媛県森林組合連合会、外国人技能実習生 3 名、監理団体を中心として関係者に対する聞き取り調査、一部で文献資料調査を実施した。

2. 技能実習制度の概要と対象職種

本節では技能実習制度について概要を述べるとともに、林業が技能実習 2 号への移行対象職種へ指定されるまでの手順と課題について整理する。技能実習制度は 1993 年に創設され、本国への技能の移転を目的に外国人を労働現場に受入れる制度である。技能実習 2 号への移行対象に指定された職種においては最長 5 年間までの就労が可能となっている⁴⁾。林業など指定外の職種においては技能実習 1 号として 1 年間のみの就労に限られており、技能実習制度を活用した外国人就労は極めて少ない状況である。

技能実習 2 号への移行対象職種は厚生労働省「技能実習制度における移行対象職種・作業の追加等に係る事務取扱要領」において定められており、制度創設からこれまでに多くの職種が追加されてきた（厚生労働省 2020a）。対象職種に指定されるためには、職業能力開発促進法によって規定される技能検定制度が整備されている必要がある。それに該当しない場合は、技能を評価するための技能実習評価試験を初めから整備しなければならない。技能実習評価試験を整備する前提として、「海外の実習ニーズがあること、業界内で合意形成がなされていること、当該職種が属する産業の振興の観点から問題がないこと」等が要領において求められている。

したがって、技能を評価するための仕組みを有していない林業が移行対象職種になるためには「海外ニーズ、合意形成、産業振興」等の条件を満たした上で、制度を整備する必要がある。技能検定制度は 1959 年に始まり、2019 年現在 130 職種で試験が実施されている（厚生労働省 2019b）。実施職種は社会のニーズ等に合わせて見直しが行われており、新設する要件としては「対象労働者が地域に限定されることなく全国的に相当数存在すること、高度な技能や専門的知識を要するなど検定に値する職業能力が要求されること、技能検定の対象となる職種における高度な職業能力を有する人材に対する需要が大きいこと又は増大していること、知識及び技能を客観的に評価できること」等が掲げられている。また、新設の職種

については厚生労働省から指定される民間機関での検定試験実施が原則とされる。試験機関として指定される基準としては、「全国的な規模で継続して毎年一回以上技能検定を実施できる資産及び能力」や「試験業務を適正かつ確実に実施するために必要な職員の確保」等が示されており、全国規模かつ安定した基盤を持つ組織体制が求められていることが分かる。(技能検定の職種等の見直しに関する専門調査委員会 2009)

上記の通り、林業が技能実習2号への移行対象職種へ指定されるためには、技能検定制度およびその試験実施機関を設けることが必要であり、さらにそれを全国的な規模で機能させることが求められるのである。こういった前提に基づき、全国森林組合連合会を中心とする中央林業団体によって林業技能向上センターが2019年4月に設立された⁵⁾(日本林業調査会 2019)。林業技能向上センターは、林業に係る技能検定試験の構築、技能検定試験の実施等を主要業務とする。試験機関として、「試験業務を適正かつ確実に実施するために必要な職員の確保」が求められるところではあるが、2019年10月時点で林業技能向上センターの専従職員はまだいない⁶⁾。

全国森林組合連合会によれば、技能検定試験を構築するまでには厚生労働省との細かな事前協議、試行試験の実施、業界試験の実施といった事前準備に概ね3～4年、厚生労働省における省令改正手続きに1年を要すると見込まれている(全国森林組合連合会 2019)。つまり、第1回の検定試験が実施されるのは順調に推移しても2020年代半ばとなる。

3. 技能実習生の受入れ事例

3.1. 事業の経緯と仕組み

本節では愛媛県において技能実習制度を活用したモデル事業を取り上げ、その実態と成果を示す。モデル事業は愛媛県農林水産部森林整備課によって企画されたものであり、事業期間は2017年度から2019年度までの3ヶ年、期間1年の実習が各年度で別の実習生によって3回実施される形式である。その目的は「・・・技能実習2号の対象職種に林業を追加することへの契機作りを行うとともに、開発途上国の林業振興に寄与する」ことである(愛媛県森林整備課 2017)。モデル事業の立案者によれば、労働力確保が困難な状況にあった県内の林業事業体から外国人材の活用に関する問い合わせがあったことから、実現可能性や課題を検証することが必要と考えて愛媛県が先陣を切って取り組むことにしたという。

モデル事業を計画立案中の2016年度後半において、同時期に愛媛県では「愛媛県林業労働力確保促進基本計画(2017年4月～2023年3月)」を作成中であった。計画案には「外国人技能実習生の受入れ体制の整備」が促進する事項の一つとして上がっていたが、パブリックコメント募集において反対意見が複数寄せられた。そのため、実際の計画では「新たな人材確保の検討」の事項中で「シ

ルバー人材や外国人の活用」という表現に改められた(愛媛県 2017a, 2017b)。また、2017年5月に2018年度の重要要望事項として「外国人技能実習生受入れ体制整備に対する支援制度の創設」を林野庁に対して上げたところ、ニーズを慎重に把握する必要性とニーズの全国的な拡がりが必要であるという回答が戻ってきた(愛媛県林業政策課 2017)。つまり、愛媛県がモデル事業を開始することに対して、反対意見や慎重さを求める意見が一方であったことがうかがえる。

モデル事業において技能実習生を受入れたのは、愛媛県森林組合連合会森林保全部(以下、県森連)に属する作業班である。2017年以前から県森連は外国人材の活用を検討し、県と相談及び働きかけを進めていたことから、モデル事業の受託者となったという経緯がある。県森連は県内他の森林組合と並んで認定事業体となっており、固有の作業班を組織しながら県内各地で利用事業を展開している。松山市郊外に位置する中野町事業所内に事務所があり、作業班員はそこまで毎朝出勤する。2018年における日本人の作業員数は18名であった。

技能実習生はベトナムのホーチミン市にある木材商社A社に所属する社員から選抜されている。県森連が木材輸出事業に関してA社と取引実績があって良好な関係を築いていたことから、社員の派遣を打診したところ、5名の実習が承諾されたという経緯がある⁷⁾。A社内で実習生の募集をしたところ、20名ほどの応募があった。それら応募者に対して県森連担当者らが現地へ出向いて面接を行い、採用者を決定した⁸⁾。採用希望者は技能実習によって得られる賃金と日本食や文化の体験に強い期待を示す者が多かったという。また、採用決定者はA社で木材製品や家具の輸送管理業務に従事し、月給額は日本円にして約30,000円程度であった⁹⁾。採用決定後、実習生はベトナム国内でA社の通常業務に従事しながら、3ヶ月間の日本語の研修を受講した。実習生は来日後、監理団体であるB協同組合の広島県内研修所においてさらに1ヶ月間の語学や日本での生活に関する座学講習を受講した。2017年度から2019年度前半にかけての1期目と2期目に関する愛媛県、県森連、実習生の動きをFig.1に示す。愛媛県のモデル事業による助成は技能実習開始直後の特別講習までである。そのため、1期目の事業年度(2018年3月まで)と実習生の実習期間(2018年1月から12月)とは、ずれがあり2期目以降も同様である。

外国人技能実習には日本の企業が海外の現地法人の職員を受入れる単独企業型と非営利の監理団体が実習生を受入れて提携する実施企業において技能実習する団体監理型の2つのタイプがある。愛媛県のモデル事業は後者の団体監理型に該当し、島根県に本部を置くB協同組合が監理団体として県森連における技能実習を指導・支援する。本事例における現地法人(A社)、実施企業(県森連)、監理団体(B協同組合)の関係はFig.2に示すとおりである。B協同組合は全国で約250人(2019年6月時点)

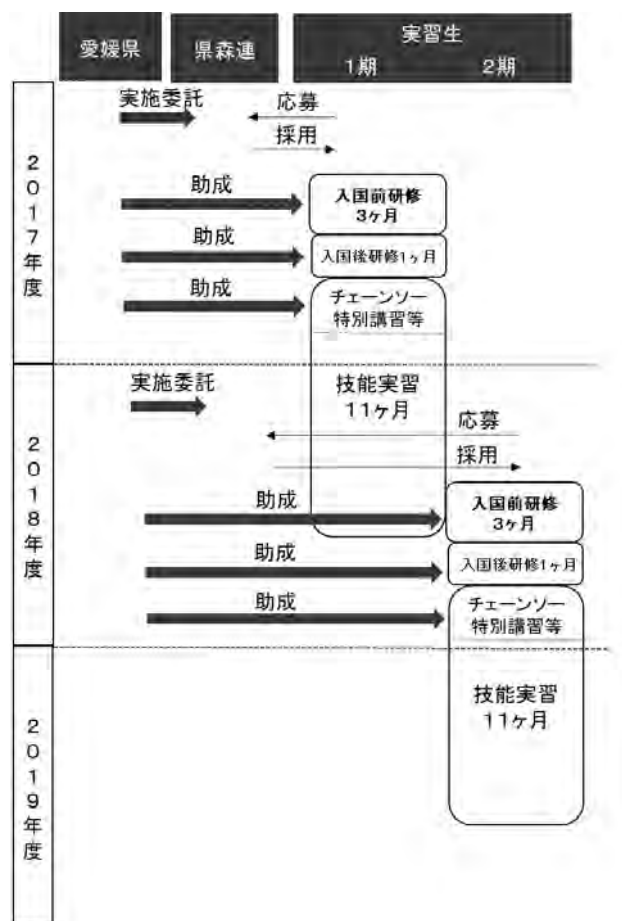


Fig. 1. 林業担い手受入れモデル事業の仕組みと流れ
資料：聞き取り調査を元に筆者作成

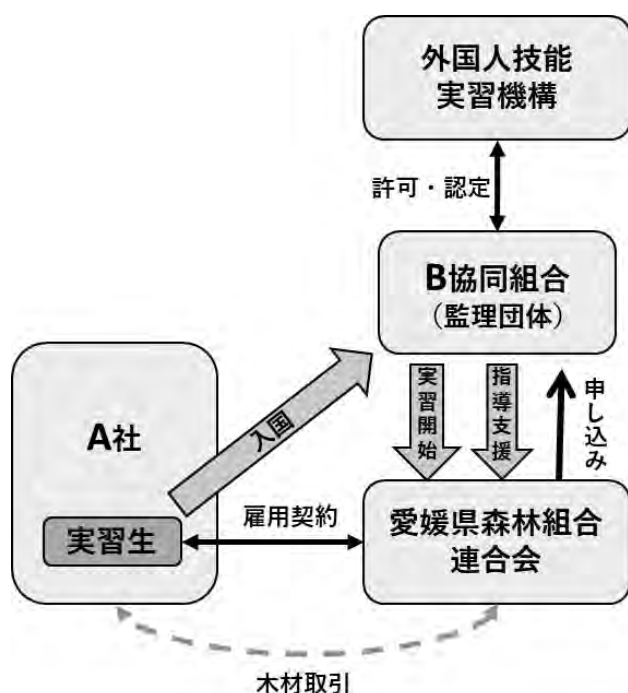


Fig. 2. 外国人技能実習生の関係者と役割
資料：厚生労働省資料を参考に筆者作成

の技能実習生と各実施企業の監理を担っている。監理する実施企業の職種は食品工場、水産工場、機械工業、建設業、施設園芸など様々だが、林業に関しては愛媛県が初めての事例である。県森連担当者は事業の開始にあたって、まず初めに愛媛県内にあるいくつかの監理団体に打診した。しかし、森林整備に関わる技能実習の前例がなく、実習期間が1年間のみかつ3カ年度限定の事業ということで、監理団体にとっても難しい条件だったために断られることが続いた。その後探す範囲を広げながらも四国内で見つからず、結果的に島根県に本部を置くB協同組合が監理を引き受けることとなった。B協同組合から見ても、モデル事業と関わることは将来を見据えた試行的な意味合いが大きいという。

B協同組合にはベトナム語の通訳スタッフが在職する。実習期間中、B協同組合は県森連と随時連絡を取り、1ヶ月に1度を目安に相談員が訪問、3ヶ月に1回以上の頻度で所定の定期監査を実施する（出入国在留管理庁・厚生労働省 2019）。監査では実地で確認や事業担当者からの報告が行われるが、実習生が作成する日誌の確認も重要であるという¹⁰⁾。

3.2. 技能実習の実態と成果

実習生は広島県内での研修を終えて愛媛県に住居を移した後、安全講習やチェーンソー・刈り払い機取り扱いの講習を受講した。チェーンソーと刈り払い機の取り扱い説明書については県森連がベトナム語に翻訳したものを事前に用意して、十分な理解を促した。1年間の技能実習期間のうち、こういった事前講習に多くの時間を割くため、山林現場での実習・就労は実質的に11ヶ月足らずとなる。

実地での実習は県森連作業班の施業現場で行われ、指導役の日本人が実習生1名ずつに割り当てられる。業務内容は1年を通して日本の林業で通常実施されるもの、すなわち植栽、下刈り、伐倒等の作業である。関係機関へ提出された実習内容と時間はTable.1のとおりである。技能実習においては、該当職種として必須な作業に51%以上の時間従事しなければならない。林業の場合、山林内の施業に加えて安全衛生等に関する作業が必須作業であり、木材加工仕上げ等が関連作業、木材の在庫管理や運搬等が周辺作業に当たる。県森連は木材市場や製材加工センターを運営しており、そこで技能実習生が業務に当たる場合は周辺作業として認められることになる。技能実習生の派遣元A社は木材商社であることから、木材市場や製材加工センターでの業務にも関心が高く、そこで経験を積むことも期待されていた。実際、1期目の2名は木材加工センター等の業務にも範囲内で時間を割いていた。

実習生は県森連が寮として用意した住宅2戸に分かれて居住する。寮は県森連事業所から4km程離れた集合住宅であり、その間を自転車で通勤する。事業所が松山市

Table 1. 技能実習内容と時間

種別	必須作業 (森林保全・木材生産)	必須作業（左記以外）	関連作業	周辺作業
技能実習の内容	①コンテナ苗を用いた伐採跡地の緑化作業	①雇い入れ時等の安全衛生教育	①木材加工仕上げ作業	①工場の作業環境整備作業
	②高性能林業機械等を活用した効率的な木材生産作業	②作業開始前の安全装置等の点検作業	②木材製品点検作業	②木材の在庫管理、運搬作業
	③玉伐り作業	③造林整備事業職種に必要な整理整頓作業	③椎茸の収穫、乾燥、保管仕分け作業	③製品の工場内搬送作業
	④枝払い作業	④森林保全・木材生産作業用機械及び周囲の安全確認作業	④安全衛生作業	④製品の梱包・出荷作業
	⑤雑草刈り払い作業	⑤保護具の着用と服装の安全点検作業		
	⑥伐倒作業	⑥安全装置の使用等による安全作業 ⑦労働衛生上の有害性を防止するための作業 ⑧異常時の応急処置を習得するための作業		
合計時間	1130h	329.38h	276h	110h

資料：愛媛県森連資料を基に筆者が作成

の郊外にあるため周辺は賃貸住宅が元々少ないこと、外国人の居住に抵抗のない貸し手が容易に見つからなかったことから、適当な寮を手当するにも多くの時間を要したという。洗濯機や冷蔵庫といった電気製品や布団など生活必需品を県森連が用意した。また、本国の家族との通信のためにインターネットの環境も整備した¹¹⁾。勤務時間は午前8時から午後4時10分までのうち実働6時間40分、4週4休制（週労働40時間）であるため、休日は基本的に日曜日のみである。

技能実習生の給料および控除費目等は Table.2 のとおりである。給料額は日本人の未経験新規採用者と同等水準として約18万円としている¹²⁾。そこから、社会保険料、雇用保険料、居住費、水道光熱費等が差し引かれて手取り支給額は約13万円となる。1期目は固定月給制としていたが、2期目は日給月給制（日給額7,000円と皆勤手当あり）へと変更した。1期目の実習生は年次有給休暇を最大限取得する傾向が強かったが、この変更によって2期目の実習生においては皆勤手当を目指して休暇の取得が減る結果になったという。

生活費としては食費を中心に平均的に1人30,000円程度かかっているとみられる¹³⁾。昼の弁当作りを含めて毎食自炊することで生活費を抑えてベトナムへ持ち帰る額をできるだけ多くしようとする姿が通例である。日本での1年間の就労によって100万円程度を貯金することが実習生の一つの目安となっているという¹⁴⁾。ただし、県森連の実習生は技能実習に関わる申請書類を作成するための費用など約10万円について個人で負担しているた

め、それも決して容易とはいえない¹⁵⁾。なお、外国人が技能実習生として日本で就労するまでの必要経費（送出し管理費）は実習実施企業が負担することになっているが、出身国や就業予定期間によっても差が大きいという（国際研修協力機構2018, 在ベトナム日本国大使館2018）¹⁶⁾。

一方、県森連は実習生に支払う給与および社会保険費の事業所負担分に加えていくつかの技能実習に関わる特有の費用を負担している。一つは上述した居住環境の整

Table 2. 技能実習生の月給と手取り額

	(円)	備考
① 月給	181,000	2018年1期目は固定 2019年2期目は日給月給 (7,000円)と皆勤手当含む
社会保険料	25,560	帰国後、年金の本人掛分のうち7割が戻る
② 民間保険料	1,000	
住居費	12,000	各人に個室あり
水道光熱費	8,000	
通信環境利用料	1,000	無線LAN利用
手取り支給額	133,440	① - ②

資料：B 協同組合資料を基に筆者作成

備費（約 50 万円）である。また、入出国時にかかる費用として入国前申請費用、採用時健康診断料、入国後 1 ヶ月間講習費用等の送し管理費、往復航空券代の合計が一人あたり約 30 万円、さらに毎月監理団体に支払う監理費が一人あたり約 35,000 円、年間では 40 万円強の費用がかかり、決して安くない費用をかけていることが分かる（B 協同組合 2019）。

愛媛県のモデル事業は既述の通り技能実習開始までの経費に対して助成されるものであり、給料等への助成はない。内訳は語学および生活研修に対する支援（1,353 千円）、安全講習等への支援（92 千円）等である（愛媛県森林整備課 2017）。一般には入国後 1 ヶ月間の講習期間における生活費（約 70,000 円）は実習実施企業の負担となるが、当モデル事業によって助成されるため県森連から見れば少なくとも 5 人分の約 35 万円の経費負担が軽減されたことになる。

以上の費用をまとめると、一人あたり年間の給料と社会保険料が約 240 万円、送し管理費が約 30 万円、毎月の監理費が約 40 万円、合計で約 310 万円となる。つまり、日本人の新規採用にかかる費用と同等の金額が技能実習の受入れにかかっているとみられる¹⁷⁾。さらに、認定事業体における一般的な新規雇用であれば「緑の雇用」事業による助成を得られる可能性があるため、それも考慮すれば、技能実習にかかる負担は相当に大きいという見方ができる。

実習生に対する聞き取りから、以下の感想が聞かれた¹⁸⁾。現場の業務においては、作業指示の場面でも監督者が分かりやすい言葉で指示したり、スマートフォンの翻訳機能を介したりすることによって、言葉に関しては大きな問題を感じていない。また、ベトナムでは看過されやすい安全第一の姿勢が徹底されており、安全面に対する配慮や意識が重要であることを改めて認識するようになった。ベトナムでは山林内での業務経験がなかったため、不安定な斜面で刃物を扱うことに恐怖感があったが、徐々に慣れることができた。一方、仕事以外に関しては、日本での生活に不便を感じていないこと、1 年間という実習期間は短く惜しいと感じていること、生活費をできるだけ節約して多くの貯金とともに帰国したいと考えていることが述べられた。実習生を指導する現場監督者に対する聞き取りでは、モデル事業として外国人を受入れることについて、現場がスムーズに動かなくなる恐れから当初は反対であったが、真面目に働く姿を見て反対する気持ちがなくなった、それに伴って 1 年間の実習では短すぎるため延長されることが望ましいと考えるようになった、という感想が述べられた。また、現場では言葉の壁を認識するため、伐倒時の足の位置やチェーンソーのバーの角度など細かな点まで手本を示すなど、根気強い指導の重要性が強調された。

県森連の事業担当者および現場監督者は、実習生が作業に慣れていないため、ならびに言葉の制約から指導に

時間を要するために生産性が低下することを認識している。また、実習生 5 名に対して日本人指導役を 5 名配置させるため、人員配置上の制約も大きいと指摘する。施業に関しても 1 年間限定の実習であるため、林業機械等の運転技能修得までは困難であり、補完的な労働力に留まるのが実態である。2 期目に関してもまた同じように初めから指導を繰り返すこととなっている。林業が技能実習 2 号への移行対象職種になれば、より熟練が必要とされる作業を担うことができるようになるとして、今後の動向に期待している。

2019 年 10 月時点で既に 1 期目の技能実習生は帰国済みであり、派遣元 A 社に戻って社業に従事している。県森連には実習前と同じ業務に戻ってはいるが、職階が上がったという報告が届いた。

愛媛県はモデル事業の成果について積極的に発信している。2018 年 8 月（約 100 人参加）と 2019 年 10 月（約 130 人参加）の 2 回、林野庁や地方自治体、外国人労働力の受入れに関心を持つ事業関係者を全国各地から集め、現地報告会とシンポジウムを開催した（日本林業調査会 2018b）。モデル事業の目的は「技能実習 2 号の対象職種に林業を追加することへの契機作り」であり、また「ニーズの全国的な拡がり」も示すことができたことから、愛媛県はモデル事業の計画者として当初の目的を相当程度果たしたといえる。

4. まとめと議論

本節ではこれまで述べてきた本事例の成果から林業における外国人労働力の受入れの意義を考察し、今後の展望について述べる。まず事業の直接的な関係者から見て、すなわち実施企業と実習生から見て技能実習はどのような意義を持つか考察する。次いで、産業全体を見通して、すなわち国内林業と出身国への技能移転において技能実習による外国人労働力の受入れがどのような意義を持つか考察する。

実習実施企業としての県森連の観点では、実習生の受入れが経営的に意義を持つと評価することは難しい。既述の通り、技能実習生を 1 年間雇用するためには日本人の新規採用者と同程度の費用がかかっている。とりわけ 2018 年の 1 期目において、仕組み作りや環境整備にも多くの労力を費やしていた。また、実習生は 1 年期限であるために高度の熟練を求めることが難しいため、技能実習生の受入れを即労働力の拡充とみることもまた難しい。しかし、事業担当者らの期待するとおりに期限が今後より延長されることになれば、一定の技能を修得した労働力を安定的に確保できるといったメリットが生まれてくる可能性はあるだろう。

本事例の技能実習生の観点では、技能実習によって得るものとして日本での技能修得よりもむしろ日本での生活体験や貯金の方が比重は大きかったのではないかと推測される。1 期目の実習生は帰国後、実習前の業務に戻っ

てから日本の山林現場で得た技能をそのまま活かせる環境にない。ただし、実習前に得ていた月給額のおよそ30ヶ月分に相当する額を目標通りに貯金することができていれば、個人にとっては経験とともに大きな財産となっているものと考えられる。

国内産業における労働力確保という観点では、本事例はモデル事業として試行段階にあるために現時点で評価することは困難である。技能実習生の業務内容から判断する限り、労働力としては補完的なものにとどまっていた。今後より長期間の就業が可能になったとき、どこまでの技能を修得可能か、国内の労働者を代替しうるものか、改めて評価する必要があるだろう。一方、技能実習2号への移行対象職種においては既に統計にも表れているように、労働力不足を補う大きな位置づけにあることは確かである。茨城県では20～30代の農業就業者のうち外国人は3人に1人、また広島県では20～30代の漁業就業者のうち外国人は2人に1人という状況であり、構造的な変化が生じている（NHK取材班2019）。技術の特質も考慮する必要があるが、農業や漁業では既に外国人技能実習生が日本人の代替労働力として機能していることがうかがえる。

出身国への技能移転という観点では、本事例の成果は限定的である。実効ある成果の受け渡しとしては山林現場の必須作業で得た技能よりもむしろ、県森連製材加工センターでの関連作業で得た技能の方が派遣元A社の業務において役だったのではないかと推測される。本事例では林業を主業としない特定企業から実習生を採用していたため、技能移転を主眼とするには難しい枠組みであった。今後、別の林業事業体が技能実習1号の枠内で実習生を採用しようとする場合、技能移転が果たされる可能性はゼロとはいえない。ただし、1年間で修得できる技能の限界を考慮すると、目的にかなった技能移転が十分に果たされるためにはより長期の技能実習期間を経る必要があると考えられる。

以上の通り、本事例における外国人労働力の受入れの成果には一定の限界が示されていた。それは技能実習1号におけるモデルケースという条件的、および環境的な制約による部分が大きいといえる。しかし、モデル事業の目的の一つでもあるように、林業関係者に対して情報発信することによって受入れの機運をつくるという意味では一定の成果を上げたと言えることができる。

林野庁（2019）は「平成30年版森林・林業白書」の中で、愛媛県のモデル事業を例示しながら「技能検定制度への林業の追加（中略）の検討は（中略）外国人材受入れの議論の活発化にも資するため、今後も更に検討が進むことが期待される」と表した。また、林野庁2020年度予算概算要求の中で、「技能検定への林業の追加に向けた試験の試行」が項目の一つとして挙げられたとおり、技能実習生受入れへの道筋を整える動きが確認できるようになった（林野庁2020）。とはいえ、林業技能向上センター

が実現予定時期とする2020年代半ばまでは、まだ幾分の時間を要する。その間に他産業の動向を注視の上、林業技能向上センターにおいて組織と機能を拡充させること、情報を集約して積極的に発信していくことが求められる。特に、監理団体組織を農業や漁業にならって森林組合など林業関係団体内で設ける是非など、早い段階から多くの関係者による幅広い議論と準備が必要と考えられる。また、日本人の林業労働者の確保育成施策といかに両立させていくかも政策的な課題となるだろう。外国人労働者が補完的な労働力にとどまる現状から発展して、どこまで技能を修得できるか、あるいは国内労働者を代替しうるか、事例調査を続けてこれらの点を明らかにすることを今後の研究課題としたい。

5. 注ならびに引用文献

注

- 1) 役に立った内容として「修得した技能」、「日本語能力の習得」、「日本での生活経験」が上位に並び、「日本で貯めたお金」は5番目である。
- 2) 2019年時点で農業は耕種農業と畜産農業の2職種、漁業は漁船漁業と養殖業の2職種が技能実習2号への移行対象職種として指定されている。
- 3) 外国人労働力状態・産業・職業別の数値において、「農業、林業21,098人」から「うち農業20,950人」を差し引いた値
- 4) 2020年2月現在、82職種146作業が指定される。2号への移行によって在留期限が3年間延長、3号への移行によってさらに3年間延長される。
- 5) 正会員は全国森林組合連合会、日本林業協会、全国素材生産業協同組合連合会、全国国有林造林生産業連絡協議会、日本林業経営者協会、日本造林協会、全国山林種苗協同組合連合会の7団体である。
- 6) 全国森林組合連合会職員に対する聞き取り。
- 7) 技能実習生の数は実習企業の常勤職員数によって上限が決まっている。職員30人以下の企業では3名まで、同31人～40人では4名、同41～50人で5名などとなっている。
- 8) 1期目は2017年秋、2期目は2018年秋に募集と面接を実施した。
- 9) 日本にきた実習生は全員男性、1期目が20歳、22歳、23歳、31歳、41歳の5名、2期目が23歳、23歳、24歳、26歳、26歳の5名である。1期目は年齢幅が大きく独身3名妻帯者2名であったが、2期目は年齢構成を合わせた方が良いと判断して同年齢を揃えた。
- 10) 要領では監査内容として「①技能実習の実施状況を実地に確認すること、②技能実習責任者及び技能実習指導員から報告を受けること、③技能実習生の4分の1以上と面談すること、④実習実施者の事業所の設備、帳簿書類等を閲覧すること、⑤技能実習生の宿泊施設等の生活環境を確認すること」が求めら

- れている。監理団体による定期監査の他、外国人技能実習機構による予告なしの不定期監査もあるため、日誌の作成は重要事項とされる。
- 11) 監理団体によれば、スマートフォン等をつなげる無線 LAN 環境は技能実習生にとって必須である。その一方で、母国語にあふれた環境となるため、日本語習得の妨げになるという見方もある。
 - 12) 労働政策研究・研修機構 (2016b) によれば、技能実習生の賃金は最低賃金から計算され 12 万円～14 万円程度の事例が多く、同じ仕事、同じ作業を行う日本人の給料よりも低い事例が多い。また、厚生労働省 (2020b) 「令和元年賃金構造基本統計調査」結果によれば、技能実習生の賃金は 156.9 千円であり、外国人全体の平均 223.1 千円よりも低い。
 - 13) 技能実習生 3 名に対して聞き取りした平均値。
 - 14) 監理団体 B 協同組合職員の発言による。手取り額約 13 万円 (Table 2) から生活費 3 万円を引いた残額約 10 万円×11 ヶ月＝約 110 万円が年間総手取り額となる。ただし、書類作成費用 10 万円を個人負担するため、100 万円が一つの目安額となる。
 - 15) 国際研修協力機構 (2018) は旅券及び査証手数料等の実費を技能実習生が個人負担することもある、とする。一方、派遣前健康診断、日本語学習、日本在留のための生活指導等の事前講習、監理団体・実習実施企業との連絡・協議等にかかる費用については監理団体が送出し機関に対して支払う「送出し管理費」として個人負担を認めず、透明、公正、適正であることを求めている。
 - 16) 在ベトナム日本国大使館「技能実習生に対する手数料の上限」によれば、「技能実習生に対する手数料は、ベトナム労働・傷病兵・社会省 (MOLISA) の通知により、3 年契約の場合には 3,600US ドル以下、1 年契約の場合には 1,200US ドル以下と上限額が定められ」ており、「保証金の徴収も日本の法令により禁止されて」いる。加えて、「技能実習生の送出し及び受入れに際し、ブローカーが介入すること」とは禁じられている。
 - 17) 興梠・志賀 (2015) のアンケート調査によれば、経験年数 3 年以下の林業作業員では税込み年収 200～250 万円が 38.5% と最も多く、次いで 200 万円未満が 23.7% となっている。
 - 18) 2018 年 4 月において 1 期目の 3 名に対して聞き取り。実習生は現場作業に入って 1 ヶ月ほど経過したところであり、環境にはまだ十分に慣れていない状況だった。
- 引用文献
- B 協同組合 (2019) 技能実習制度。林業分野における外国人技能実習シンポジウム資料。
- 愛媛県 (2017a) 愛媛県林業労働力確保促進基本計画 (案)。
- 愛媛県 (2017b) 愛媛県林業労働力確保促進基本計画 (案) に寄せられた意見と県の考え方。
- 愛媛県林業政策課 (2017) 愛媛県における人づくりについて。
- 愛媛県森林整備課 (2017) 林業担い手受入れモデル事業。
- 外国人技能実習機構 (2019) 職種別技能実習計画認定件数。平成 30 年度業務統計。
- <https://www.otit.go.jp/files/user/191001-18-1-4.pdf>
- 技能検定の職種等の見直しに関する専門調査員会 (2009) 技能検定の職種等の見直しに関する専門調査員会報告書。7pp。
- https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/minutes/wg/2009/0715/item_090715_03.pdf
- 軍司 聖司 (2017) タイプ別地域別にみた外国人技能実習生の受入れと農業との結合。堀口 健治編「日本の労働市場開放の現況と課題」。筑波書房, 31-62。
- 濱田 国佑 (2016) 2008 年の経済危機後の日系外国人および外国人集住地域をめぐる研究の動向。駒澤社会学研究, 48, 151-167。
- 堀口 健治 (2017) 農業に見る技能実習生の役割とその拡大。堀口 健治編「日本の労働市場開放の現況と課題」。筑波書房, 14-30。
- 飯田 悠哉 (2017) 農業技能実習生の帰国後の現実: フィリピン出身者の事例から。農業と経済。83(6), 57-62。
- 岩下 康子 (2018) 技能実習生の帰国後キャリアの考察—ベトナム人帰国技能実習生の聞き取り調査を通して—。広島文教女子大学紀要。53, 33-43。
- 上林 千恵子 (2015) 外国人労働者受入れと日本社会。東京大学出版会, 278pp。
- 国際研修協力機構 (2013) 2012 年度帰国技能実習生フォローアップ調査報告書。25pp。
- 国際研修協力機構 (2014) 2013 年度帰国技能実習生フォローアップ調査報告書。27pp。
- 国際研修協力機構 (2018) 技能実習法に基づく送出機関のための送出しマニュアル。45pp。
- https://www.jitco.or.jp/ja/member/members_only/pdf/okuridasi_manual.pdf
- 興梠 克久・志賀 薫 (2015) 林業就業者の動向と就業意識。興梠 克久編「緑の雇用」のすべて。日本林業調査会, 日本林業調査会, 232-240。
- 厚生労働省 (2019a) 「外国人雇用状況」の届出状況まとめ。
- https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_09109.html
- 厚生労働省 (2019b) 技能検定職種一覧表
- <https://www.mhlw.go.jp/content/000616300.pdf>
- 厚生労働省 (2020a) 「技能実習制度における移行対象職種・作業の追加等に係る事務取扱要領」
- <https://www.mhlw.go.jp/content/000616300.pdf>
- 厚生労働省 (2020b) 「令和元年賃金構造基本統計調査」
- <https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/chingin/>

kouzou/z2019/index.html

- 三木 敦朗 (2018) 「緑の雇用」事業による人材育成と「資源の利用期」下での課題. 林業経済研究, 64(1), 4-13.
- 三輪 千年 (2017) 漁船漁業における技能実習生の役割と熟練の獲得. 堀口 健治編 “日本の労働市場開放の現況と課題”. 筑波書房, 114-132.
- 内閣府 (2019) 令和元年版高齢社会白書. 174pp.
- 中村 二郎・内藤 久裕・神林 龍・川口 大司・町北朋洋 (2009) 日本の外国人労働力 経済学からの検証. 日本経済新聞出版社, 294pp.
- NHK 取材班 (2019) データで読み解く外国人‘依存’ニッポン. 光文社, 241pp.
- 日本林業調査会 (2018a) 林政ニュース, 580, 18-19.
- 日本林業調査会 (2018b) 林政ニュース, 588, 13-15.
- 日本林業調査会 (2019) 林政ニュース, 602, 4-5.
- 林野庁 (2019) 令和元年版森林・林業白書. 279pp.
- 林野庁 (2020) 令和2年度当初予算 林業成長産業化総合対策のうち現場技能者キャリアアップ・林業労働安全対策 (拡充).
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/yosankesan/attach/pdf/02hikoukyou-19.pdf>
- 労働政策研究・研修機構 (2016a) 帰国技能実習生フォローアップ調査—2014 年度アンケートインタビュー調査結果—. 203pp.
- 労働政策研究・研修機構 (2016b) 企業における外国人技能実習生の受入れに関する調査. 419pp.
- 総務省 (2017) 平成 27 年国勢調査
- 出入国在留管理庁・厚生労働省 (2019) 技能実習制度 運用要領.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000516525.pdf>
- 田中 亘 (2016) 外国人労働力の活用とは. 林経協季報 杣径, 39, 9-12.
- 田中 亘 (2019) 林業における外国人労働力の活用—愛媛県の事例から—. 木材情報, 338, 20-23.
- 丹野 清人 (2007) 越境する雇用システムと外国人労働者. 東京大学出版会, 328pp.
- 依光 正哲 (2003) 国際化する日本の労働市場. 東洋経済新報社, 248pp.
- 在ベトナム日本国大使館 (2018) 技能実習生に対する手数料の上限
https://www.vn.emb-japan.go.jp/itpr_ja/ginoujissuusei_tesuuryou_jougen.html
- 全国森林組合連合会 (2019) 林業分野における外国人技能実習シンポジウム資料

なお、掲げたウェブページには 2020 年 3 月の時点でアクセスした。

Process of the new acceptance of foreign workers to forestry -A case study of Ehime Prefecture-

Wataru TANAKA^{1)*}

Abstract

As the working-age population in Japan declines, many industries are now accepting foreign labor. This trend has extended to forestry, despite the lack of experience common in foreign workers. This study focuses on this trend. It reviews the systems governing the acceptance of foreign labor and examines the results and issues from the model projects implemented in Ehime Prefecture. The establishment of a skills-test system is essential for the introduction of technical intern trainees to forestry. The Forestry Skills Improvement Center was established in 2019 for this purpose, but it will take about five years to establish the skills-test system. It is considered essential to expand the organization and strengthen information transmission in these five years. According to the case in Ehime Prefecture, technical interns have high expectations for living in Japan, in terms of both earned wages and skill acquisition. While companies who accept foreign labor feel that the burden of providing technical guidance is not large, it has become clear that the cost of wage payment is considerable. Ultimately, since the acceptance period in the model project is one year, too short to acquire enough skills, it can be said that the results of skill transfer to overseas countries are limited.

Key words : forestry labor, foreign worker, technical intern training, Ehime Prefecture

Received 23 April 2020, Accepted 7 July 2020

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

* Department of Forest Policy and Economics, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN

論文 (Original article)

酵素反応とビーズミルを用いた湿式粉碎による食素材への適用を目指した タケからのセルロースナノファイバー製造

下川 知子^{1)*}、池田 努¹⁾、眞柄 謙吾²⁾、戸川 英二¹⁾、中村 雅哉¹⁾、大塚 祐一郎¹⁾、
野尻 昌信¹⁾、高尾 哲也³⁾、小川 睦美³⁾、中山 榮子³⁾、林 徳子¹⁾

要旨

タケ資源から、食素材への適用を目指したセルロースナノファイバーを製造する技術開発を行った。ソーダ蒸解法によって調製したタケパルプをアスペルギルス由来の酵素製剤で前処理することによって、続くビーズミルでの解繊を円滑に行うことが可能となった。解繊に用いるジルコニアビーズの直径と粉碎容器内での速度および処理時間は、得られるセルロースナノファイバースラリーの特性に影響を与えた。ナノ化の進行程度は粒度分布分析によって把握し、透過型電子顕微鏡観察で確認した。得られたセルロースナノファイバー懸濁液の形態観察、粒度分布分析、フィルム強度および摩擦特性から、タケ由来セルロースナノファイバーを製造する方法として、食品添加物として認められたアスペルギルス由来酵素製剤を使用したパルプの前処理と、直径1 mmのジルコニアビーズを用いたナノ化処理を採用することとした。得られたタケセルロースナノファイバーのマウスを用いた急性経口毒性試験では、致死量の中央値 (LD₅₀) が 2,000 mg/kg よりも高いことを確認した。

キーワード：セルロースナノファイバー、タケ、パルプ、セルラーゼ、湿式粉碎、食素材

1. はじめに

セルロースを主成分とする、木材から得られる木材繊維 (パルプ) を微細な繊維状態にまで解繊したセルロースナノファイバー (CNF) は、森林資源由来の新素材として注目されており、様々な製法で製造された CNF が身近な製品へ利用されるようになってきている (矢野 2018, Isogai 2015, Future Markets 2019)。湿式粉碎での CNF 製造時にエンドグルカナナーゼ (EG) の性質を利用した酵素処理を併用する有効性は Henriksson et al. (2007) や 林 (2012) によって報告されており、CNF の環境に優しい製造方法として注目されている。CNF は高い増粘性を有し、ゲル化する特性を持つため、食品へ添加する増粘剤としての利用や、食品テクスチャーの改善、たとえば口当たりを滑らかにする等の用途が考えられている (神野 2015a, b)。セルロースは食物繊維として様々な食品に含まれており、食品添加物としても利用されていることから、食経験を有し、安全性に問題はないと考える。しかし、セルロースをナノレベルにまで解繊した CNF には食経験の蓄積が不足しているために、ヨーロッパ等ではその安全性の確認が強く求められている (EFSA 2011, Bouwmeester et al. 2014)。

タケは生育の早い資源であり、CNF としての利用検討も幅広く行われている (近藤 2016, Chang F et al. 2012)。

モウソウチクにはタケノコとしての食経験があることから、モウソウチクから得られるパルプを原料とした CNF は、将来的な食用を検討するのに適した素材と思われる。タケから得られたパルプを原料に、EG 処理と機械処理の併用によって CNF を製造可能であることは、林ら (2015) によって明らかにされているが、タケ CNF の各種物性、安全性確認のためには、キログラム単位のスケールアップが可能な製造方法の確立が必要であった。また、その CNF 製造プロセスは、モウソウチクのように中山間地において蓄積する資源を原料として利用することを想定した場合、中小規模でも対応可能であり、簡便かつ安全性の高い製造プロセスであることも必要と考えられた。ソーダ蒸解法は樹種を選ばず、中小規模でも対応可能なパルプ化方法である。蒸解助剤としてアントラキノン添加するソーダ・アントラキノン蒸解法もあるが、食品添加物リストに含まれる薬剤ではないことから、高い安全性を確保するためにアントラキノンを使用しないソーダ蒸解を行うこととした。ナノ化プロセスでは、食品添加物として指定されている酵素製剤を使用し、スケールアップが容易で食品製造に使用されているビーズミルを用いた粉碎方法を導入した。構築したプロセスによって製造したタケ由来 CNF の安全性確認試験として、急性経口毒性試験を実施した。

原稿受付：令和2年5月29日 原稿受理：令和2年8月24日

1) 森林総合研究所 森林資源化学研究領域

2) 森林総合研究所 研究ディレクター

3) 昭和女子大学 大学院生活機構研究科

* 森林総合研究所 森林資源化学研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

2. 実験方法

2.1 タケチップからのパルプ調製と分析

茨城県牛久市の竹林より 2014 年 11 月に採取したモウソウチク (*Phyllostachys edulis*) を 1 か月程度室内で常温乾燥し、節を除いた部分を繊維方向に細かく割り、約 5cm × 3cm × 0.5cm のタケチップを調製した。

タケチップ 300g (絶乾重量換算、DM (dry matter)) を 2L 容オートクレーブ (日東オートクレーブ、NAC13) に入れ、対チップあたり 26% の水酸化ナトリウムを含む蒸解液 900 ml を加え、90 分間で 155℃まで昇温し、120 分間蒸解した。蒸解終了後、300 メッシュのスクリーンで黒液を分離し、ディスインテグレーター (熊谷理機、No.2530) で 60 秒解繊し、フラットスクリーン (熊谷理機、No.2625、8/1000 インチ幅スリット) で精選・洗浄した。洗浄パルプは遠心分離機で脱水し、濃度約 30% とした。

ソーダ蒸解したタケパルプ 100 g を 2L 三角フラスコに取り、水を加えて全量を 1L とした。これを攪拌しながら 70℃に加熱し、6 g の亜塩素酸ナトリウムと 1 ml の酢酸を加えて二酸化塩素を発生させ、60 分間漂白した。漂白後のパルプはブフナーロートを用いて 1A3 ろ紙上で水洗し、吸引脱水した。この、二酸化塩素漂白して調製したパルプを二酸化塩素漂白パルプとする。

アルカリ蒸解後に酸素・オゾン・次亜塩素酸塩漂白を行った方法は以下のとおりであり、オゾン漂白パルプと表記する。アルカリ蒸解後のタケパルプ用いて、対パルプあたり 4% の NaOH を含む 10% (w/v) のスラリーを調製し、中濃度パルプミキサー (Quantum, Mk.5) に入れ、1.01MPa の圧力で上蓋を密閉し、5 分毎に 600rpm で 30 秒間攪拌しながら 90℃まで昇温した。昇温終了後、0.6MPa の圧力で酸素ガスを導入すると同時に 1600 rpm で 30 秒間パルプスラリーを攪拌し、酸素ガスと混合した。その後、酸素圧力を 0.6 MPa に保ちながら 5 分毎に 600 rpm で 30 秒間攪拌し 60 分間酸素漂白した。漂白終了後、パルプは中性になるまで 300 メッシュスクリーン上で洗浄し遠心分離機で脱水した。

リン酸で pH3 に調整した 120 g (DM) のタケ酸素漂白パルプを含む 10% (w/v) スラリーを中濃度ミキサーのミキシングボウルに入れ、1.01MPa の圧力で上蓋を密閉し、常温でオゾンを注入して実施した。オゾンは、酸素からオゾン発生器 (PCI, GL-1 型) を使用して発生させた。まず、シリンダーに貯留したオゾンを 0.8 MPa の圧力でミキシングボウル内に圧入し、同時パルプを 1600 rpm で 20 秒間攪拌し、続いて 600rpm で 30 秒間攪拌した。その 10 秒後、ミキシングボウル内の圧力を開放し、この操作を対パルプあたりのオゾン添加量が 2% に達するまで繰り返した。漂白後、パルプは 300 メッシュスクリーン上で中性になるまで水洗し、遠心分離機で脱水した。オゾン漂白終了後のタケパルプは、対パルプあたり 1% の NaOH を含む 10% (w/v) のタケパルプスラリーとし、ポリエチレンバックに密閉して湯浴中 40℃で 90 分間抽

出後、300 メッシュスクリーン上で中性になるまで水洗した。この、1% アルカリ処理後のタケパルプ 30g (DM) あたり、4N 水酸化ナトリウム水溶液 500 μ l、次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (純正化学) 4.98 ml (有効塩素約 0.6 g 相当)、および水を加えて 10 wt% のスラリーを調製し、ポリエチレンバックに密閉して湯浴中 45℃で 90 分間加熱して漂白した。漂白終了後、パルプは 300 メッシュスクリーン上で中性になるまで水洗し、脱水した。

漂白処理後のタケパルプの成分分析は、農林水産省・安全局長の定める飼料分析基準に基づき、粗タンパク質はケルダール法、粗繊維はろ過法、粗灰分は直接灰化法での処理を行って湿重量 100 g あたりの含有量を求めた。漂白したタケパルプの糖組成は、硫酸加水分解後の糖液を CarboPac PA1 (DIONEX) カラムを用いたイオン交換クロマトグラフィーによって分析した (下川ら 2013)。

2.2 酵素前処理

酵素製剤は、XL 531 (食品添加物、アスペルギルス由来、長瀬産業株式会社) 又は Accellerase 1500 (food grade、トリコデルマ由来、Dupont Industrial Biosciences, Genencor International) を使用した。酵素製剤に含まれるタンパク質は、bovine gamma globulin をスタンダードとしたクイックスタート Bradford (BioRad) により定量した。酵素前処理は、タケパルプの濃度をイオン交換水で 1 wt% とし、パルプ乾燥重量 1 g あたりのタンパク質が 1 mg となるように酵素製剤を添加して 45℃で 6 時間行った。反応後、100℃で 10 分間の熱処理により酵素を失活させて反応を停止した。

2.3 ビーズミルによる粉碎処理

酵素前処理後のパルプ懸濁液 (1 wt%) を、循環型のビーズミル (LMZ015 もしくは LMZ10、アシザワ・ファインテック株式会社) で粉碎処理した。ビーズの充填率を 85%、流量を 0.2 L/min (LMZ015)、ビーズの周速を 10m/sec に設定し、直径 1 mm もしくは 0.5 mm のジルコニアビーズを使用した。LMZ015 での処理は、500 g のパルプ懸濁液を投入する際のビーズ速度を 8 m/sec に設定し、全量投入後に 10m/sec へ上昇させ、処理時間の測定を開始した。粉碎の程度は、粒度分布分析 (LA-950, Horiba) による粒子径の変化によって逐次把握した。LMZ015 でのデータをもとに、50 kg の酵素反応懸濁液を用いた LMZ10 でのスケールアップ製造を行った。

2.4 調製したタケ由来 CNF の性状分析

調製した CNF の形態は、光学顕微鏡及び透過型電子顕微鏡 (TEM, JEM-2000EX, JEOL) により観察した。

CNF フィルムの強度試験は、二酸化塩素漂白パルプを、XL531 及び Accellerase 1500 で処理し、 ϕ 1 mm のジルコニアビーズで 60 分間粉碎処理した CNF を使用した。フィルム作製にあたっては、CNF の濃度を 0.24 wt% に調製

した懸濁液を使用した。ポリスチレン製のシャーレ上で CNF が 1 mg/cm^2 となるようにスラリーを展開し、室温乾燥させてフィルムを作成した。10 × 40 mm の試験片を切り出し、EZ-Graph (Shimadzu) によって引張強度と破断強度を測定した。

CNF の滑らかさを判定するための摩擦荷重は、クリープメーター (RHEONER II, 山電) によって測定した。二酸化塩素漂白パルプを使用し、XL531 で前処理後、 $\phi 1 \text{ mm}$ のジルコニアビーズを用いて LMZ015 により 30 分間および 60 分間ナノ化処理した CNF スラリー 50 μl を人工皮革であるサプラレ (出光テクノファイン) 上、スタート地点から 10 mm の位置に滴下し、摩擦荷重の低減度 (何も滴下しない状態の摩擦荷重 (N) から、サンプル滴下した摩擦荷重 (N) を減じた値) を計測した。プランジャー (幅 10 mm × 奥行 20 mm) にもサプラレを張り付け、垂直荷重 0.1 N、全摺動距離 80 mm で測定し、試料ごとにサプラレを交換した。

2.5 急性経口毒性試験

急性経口毒性試験はマウスを用いて、OECD TG420 (2001) に準拠した試験を日本食品分析センターで実施した。オゾン漂白パルプから、LMZ10 により $\phi 1 \text{ mm}$ のジルコニアビーズを用いて製造した CNF を 70℃ で濃縮し、5 wt% としてからオートクレーブで殺菌処理して使用した。注射用水で希釈し、50-2000 mg/kg の投与用量となるように調製した各検体を、約 1 週間予備飼育した 5 週齢の ICR 系雌雄マウスに胃ゾンデを用いて強制経口投与し、14 日間の観察期間ののちに剖検をおこなった。各群につき雌雄それぞれ 5 匹を用いた。以上の実験は、「国立研究開発法人森林総合研究所における動物実験などの実施に関する指針」を順守して実施した。

3. 結果

3.1 タケパルプの調製と成分分析

ソーダ蒸解後、二酸化塩素及びオゾン漂白等で調製したタケパルプの成分分析結果を Table 1. に示す。どちらの漂白方法で製造したパルプも、粗タンパク質、粗脂肪、粗灰分は 0.5 % 以下であり、乾燥重量の殆どを粗繊維が占めた。酸加水分解後のタケパルプの糖組成は、二酸化塩素漂白を行ったもので、アラビノース：ガラクトース：グルコース：キシロース：マンノース = 4.5 : 0 : 65.7

: 29.8 : 0 (mol%) であり、オゾン漂白を行ったもので、2.0 : 0 : 68.5 : 29.5 : 0 (mol%) となり、両者に大きな違いは認められず、多糖としての重量 % では、セルロースを含むグルカンが 70-73% となった。

3.2 酵素による前処理とビーズミルによる粉碎処理

各種安全性試験等を実施するためには、乾燥重量としてキログラム単位の CNF を安定した品質で製造する方法を確立する必要がある。そのため、ナノ化に使用する機械として、食品製造に実績があり、スケールアップが容易で品質管理のしやすい循環型のビーズミルを選択した。酵素処理を実施しないパルプでは、ビーズミル運転中に細い管内でパルプが詰まることによる圧力上昇を主因としたトラブルが多発し、懸濁液の送液速度及びビーズ速度の細かな調整等を要したことから、一貫した条件で製造することは困難であった。酵素処理により、圧力上昇による作業の中断を生じることがなくなり、これらの処理条件を設定可能となった。

3.3 処理条件の選定

タケパルプを XL531 で前処理し、ビーズミルで湿式粉碎したサンプルの粒度分布分析結果を Fig. 1 に示す。500 g のパルプ懸濁液を $\phi 1 \text{ mm}$ のビーズで 30 分間処理した状態では、モード径 (最頻径) が $72.22 \mu\text{m}$ であり、Dv 90 (体積単位の頻度の累積が 90% になる粒子径) は $146.8 \mu\text{m}$ となった (Fig. 1a)。CNF は粒子状の物体ではないため、粒度分布分析の値は作業の進行状態を把握するための目安として用いており、実際の繊維の幅や長さとは同一ではない。60 分まで粉碎処理を継続した結果、モード径が $21.33 \mu\text{m}$ へ移行した。この時の Dv90 は、 $150.15 \mu\text{m}$ であった (Fig. 1b)。 $\phi 0.5 \text{ mm}$ のビーズで 60 分間粉碎処理を行ったサンプルでは (Fig. 1c)、Dv90 は $115.30 \mu\text{m}$ と $\phi 1 \text{ mm}$ の場合より小さい値を示したが、モード径は $72.60 \mu\text{m}$ で $\phi 1 \text{ mm}$ のビーズを用いて 30 分間粉碎した際のモード径と近い値を示した。これらの結果から判断して、 $\phi 1 \text{ mm}$ のビーズを使用して粉碎処理を行うこととした。粉碎処理したサンプルにナノ化した繊維が含まれることは、TEM による形態観察で確認した。Fig. 2 は、 $\phi 1 \text{ mm}$ のビーズで粉碎した CNF (XL531 使用) を TEM で観察したものである。ナノサイズに解繊した繊維の存在が観察されたが、タケのセルロースの基本単位であるセルロースミ

Table 1. タケパルプの成分

Proximate composition of bamboo pulps.

Bamboo pulps	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash
ClO ₂ bleached	71.5	< 0.1	0.2	22.8	< 0.1
O ₃ bleached	75.6	< 0.1	0.2	19.1	< 0.1

Note: Values are averages of two calculations in g/100 g raw weight basis.

クロフィブリルまで解繊維しているのではなく、3-数百 nm 幅のミクロフィブリルの束になり、束が部分的に解繊維されて蜘蛛の巣状に広がった構造も観察された。

食品添加物レベルの酵素製剤である、XL531 及び Accellerase 1500 それぞれを使用して、前処理した CNF からフィルムを作成しその強度比較を行った。60 分間粉碎処理した CNF スラリーを用いて作成したフィルムの引張強度の平均値は、XL531 及び Accellerase 1500 でそれぞれ 83.91 MPa (n=3)、46.88 MPa (n=2) であり、破断歪みはそれぞれ 3.40%、1.83% と、どちらも XL531 で前処理を行った方が高い傾向を示した。

Fig. 3 は、クリープメーターにより ϕ 1 mm のビーズで 30 分間及び 60 分間処理した CNF サンプル (XL531 使用) の滑らかさを測定し、水の場合と比較したものである。

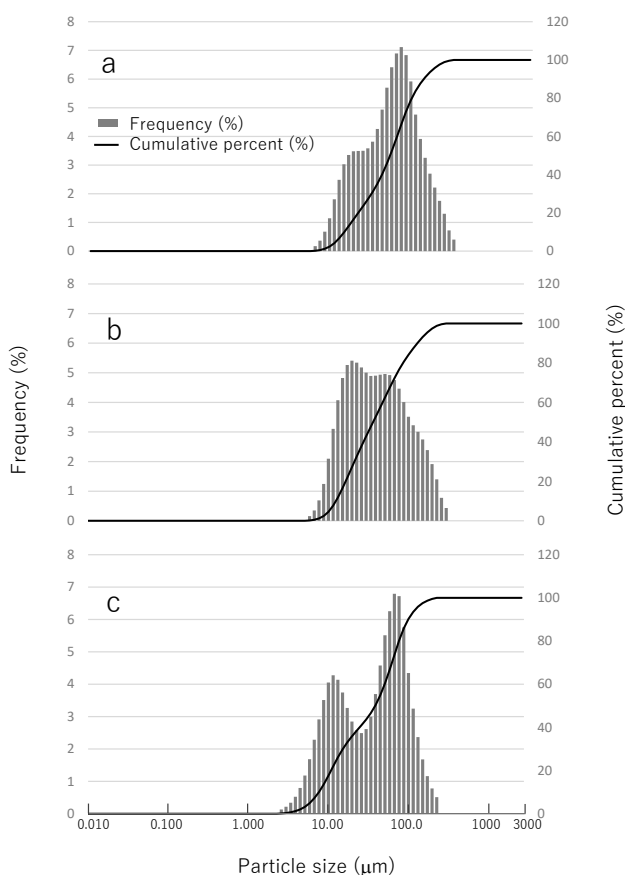


Fig. 1. 粉碎処理した二酸化塩素漂白タケパルプの粒度分布分析

Particle size distribution analysis of pulverized bamboo pulps bleached with ClO_2 .

アスペルギルス由来酵素製剤 XL531 で処理したタケパルプを直径 1 mm のビーズで 30 分 (a)、60 分 (b)、直径 0.5 mm のビーズで 60 分処理 (c)

Bamboo pulps pretreated with the *Aspergillus*-derived cellulase preparation XL531 were pulverized by milling process using 1-mm diameter beads for 30 min (a) and 60 min (b), and 0.5-mm diameter beads for 60 min (c).

クリームを塗る際の滑らかさを試験した実験系 (山電技術資料) を参考に測定を行った。30 分間よりも、60 分間粉碎処理した方が摩擦荷重の低減度が大きく、滑らかであることが示された。

以上の結果から判断して、食用途を検討する際には、アスペルギルス由来のセルラーゼ製剤 XL531 による前処理を行い、 ϕ 1 mm のジルコニアビーズを用いて 500 g のパルプ懸濁液当たり 60 分間に相当する粉碎処理を行うこ

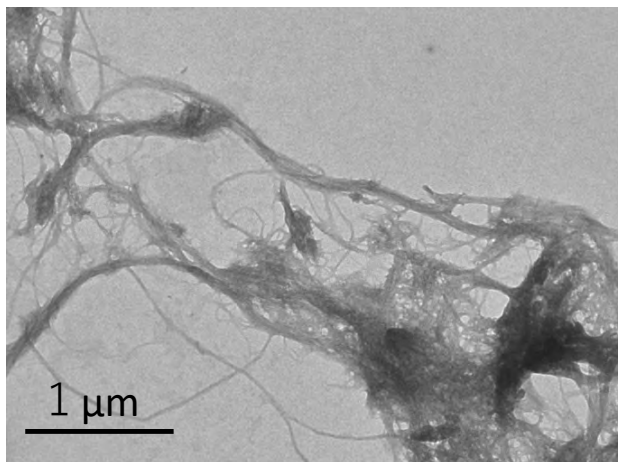


Fig. 2. アスペルギルス由来酵素製剤 XL531 及び直径 1 mm のビーズを用いて調製した微細化タケパルプの透過型電子顕微鏡観察図

Electron micrograph of microfibrillated bamboo pulp pretreated with the *Aspergillus*-derived cellulase preparation XL-531 using 1-mm diameter beads.

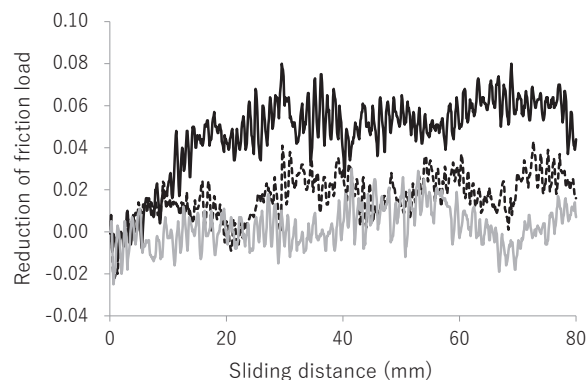


Fig. 3. 人工皮革上での摩擦に対するタケ CNF の影響

Effect of bamboo CNFs on friction load on artificial leather.

ビーズミルで 30 分 (点線)、60 分 (黒線) 処理で調製したタケ CNF と水 (灰色線) を人工皮革上に滴下し、摩擦荷重の低減を測定した

Bamboo CNF suspensions pulverized with bead mill for 30 min (dot line), 60 min (black line), and water (gray line) were dropped on artificial leather, and the reduction in friction load was measured.

ととした。

急性経口毒性試験を実施するための試料は、オゾン漂白パルプを使用した。また、パルプ繊維の解繊状態を均一化させる目的で、運転開始後の処理スラリーを循環タンクへ戻さず、別容器へ回収する1パス処理を採用することとした。LMZ015にて、オゾン漂白パルプを二酸化塩素漂白パルプと同じ条件で酵素前処理し、1パスの外部取り出し工程を組み込んだ粉碎試験を実施した。1パス後10分では、Dv90は130.86 μm であったものの、モード径が72.28 μm であった。Fig. 1cと同じように、モード径が低粒子側に移動したのは30分間の粉碎処理後であり、Dv90が93.34 μm 、モード径16.18 μm であった。作業初期に、パルプ詰まりによる運転停止への対処を行う必要があったが、スケールアップすることで配管が太くなり、問題の解消が図れると考えられた。

以上のLMZ015での実験データを元に、スケールアップ製造では粒度分布分析によってメジアン系が低粒子側へ移動し、かつDv90が100 μm 程度となることを目安に粉碎処理を行うこととした。上記条件を定めることで、同品質のCNF懸濁液を製造可能と判断したためである。粉碎を行うビーズミルはLMZ10を使用し、50 kgの酵素反応パルプ懸濁液を作製した(1 wt%)。LMZ10によって1パス後に80分間処理を行ったところ、メジアン径25.40 μm 、Dv90 108.67 μm の回収品を得た(Fig. 4)。

3.4 急性経口毒性試験

タケCNFを強制経口投与した結果、雌雄いずれの投与群においても観察期間中に死亡例は認められず、マウスの一般状態、体重値に差はみられなかった(Table 2.)。

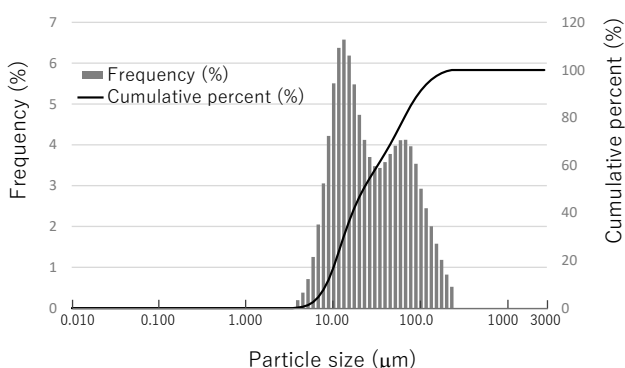


Fig. 4. 粉碎処理したオゾン漂白タケパルプの粒度分布分析

Particle size distribution analysis of pulverized bamboo pulps bleached by O_3 .

50 kgのタケパルプ懸濁液をアスペルギルス由来酵素製剤XL531で処理し、LMZ10を用いて1パス後80分処理

Bamboo pulp suspension (50 kg) pretreated with the *Aspergillus*-derived cellulase preparation XL531 was pulverized by LMZ10 for 80 min after 1-pass process.

観察期間終了時の剖検においても異常は認められなかったことから、実験条件において、検体のLD50値は、含有するCNFに換算して雌雄ともに2,000 mg/kgを超えるものと評価された。

4. 考察

身近な資源であるモウソウチクを原料として、地域の産業として食分野での利用を目指したCNFを製造するためには、製紙工場のように大規模な施設ではなく中小規模での対応が可能であり、安全かつ簡便な手法による一貫製造プロセスの構築が必要と考えられた。モウソウチクのチップからパルプを製造し、工業原料であるエタノールへ変換することを目的としたソーダ・アントラキノン蒸解では、155℃で60分間のアルカリ蒸解で十分であったが(下川ら2013)、食品への利用を想定するためにアントラキノン触媒を使用しないソーダ蒸解プロセスとしたために、対チップあたり同じNaOH濃度で120分間の反応が必要となった。また、ソーダ蒸解後の漂白では、二酸化塩素による漂白の他に、食品添加物として使用されるオゾン及び次亜塩素酸ナトリウムを使用した漂白を実施した。オゾンは既存食品添加物であり、次亜塩素酸ナトリウムは食品添加物殺菌料として使用されているため、これらの薬品の適用を検討し、二酸化塩素による漂白と顕著な差の無いことが示された。

ナノ化を行う方法には、ウォータージェット法や砥石を用いた粉碎処理、大型のボールミル、二軸混練等の様々な方法が提案されているが(平田2017)、汎用機械であって取扱い及びスケールアップ対応が容易であり、食品製造の実績があることからビーズミルが適切と考えた。ビー

Table 2. タケCNFの急性経口毒性試験におけるマウスの体重変化
Changes in body weights of mice treated once orally with bamboo CNF.

Sex	Dose (mg/kg)	Days after administration		
		0 ^a	7	14
male	2000	32.5 ± 1.5	36.8 ± 2.8	41.3 ± 3.3
	1000	32.0 ± 1.2	36.3 ± 2.2	37.8 ± 3.8
	300	32.1 ± 2.5	37.3 ± 2.5	41.7 ± 3.6
	50	32.3 ± 1.3	36.4 ± 1.5	40.8 ± 1.3
	0	32.1 ± 1.6	36.6 ± 2.5	41.1 ± 3.4
female	2000	26.6 ± 2.0	29.2 ± 2.3	32.3 ± 3.0
	1000	26.7 ± 2.0	29.5 ± 2.3	33.1 ± 2.9
	300	27.4 ± 1.7	30.2 ± 2.1	33.5 ± 1.7
	50	27.2 ± 1.7	30.6 ± 1.3	33.7 ± 1.8
	0	27.0 ± 1.9	29.7 ± 1.8	33.1 ± 2.0

Note: Values are averages of five animals ± SD (g).

^aBefore administration.

ズの素材として鉄も検討したが、わずかな錆であっても CNF 懸濁液への着色が認められたことからジルコニアを採用した。

CNF 製造のための酵素前処理に使用するセルラーゼは、繊維構造をほぐす EG 酵素活性の強い酵素製剤が適しており、それには繊維の改質等に使用される酵素製剤が該当する。セルロース繊維をほぐす活性の高いセルラーゼとして、ファミリー 45 に属する EG が挙げられる (Shimonaka et al. 2006, Shibuya and Kikuchi 2008)。この EG を単独で発現させた酵素を用いることにより、効果的に CNF を製造可能であるが (渋谷・林 2008)、食品用途には食品製造用の酵素製剤を使用する必要があるため、アスペルギルス由来の酵素製剤とトリコデルマ由来の酵素製剤を比較した。それぞれの酵素前処理を行った CNF より製造したフィルムの強度比較を行った結果、Accellerase 1500 と XL531 で前処理を行った CNF では、後者の酵素を使用した方が高いフィルム強度を示した。繊維長の長い CNF から作製したフィルムの方が高強度を示す傾向が報告されていることから (森本 2015)、XL531 で前処理を行った方が CNF の繊維が長めである可能性が示唆された。原因として、Accellerase 1500 が本来繊維改質に適した酵素製剤ではないために、セルロース繊維をより短く切断してしまったためと考えられる。トリコデルマ由来の酵素は産業利用が活発であり、繊維加工用の酵素製剤や、ファミリー 45 を単独で発現させた EG の試験製造も酵素メーカーで行われている。解繊に優れたトリコデルマ由来の EG が今後、食品添加物レベルで供給されれば、酵素添加量の低減や製造コストの削減に繋がると考えられる。

CNF の安全性を検証し、素材としての特徴を検討していくためには、安定した物性のサンプルを継続して製造する必要がある、そのための判断指標を設定する必要がある。CNF はナノサイズのサンプルであるためにその性質の把握は難しいが、粒度分布分析において $D_v 90$ が $100\ \mu\text{m}$ に達することを製造の目安とすることによって、パルプ製造条件や製造規模の変化に対応してキログラムレベルの CNF を製造可能となった。CNF は工業利用を中心に応用技術開発が行われ、身近な製品への使用が加速している。今後、工業用途だけでなく食品へ添加する用途も可能とすることで、さらに広範な展開が期待できる。ナノサイズのセルロースを、我々は既に、例えばナタデココのように生活に取り入れている (平田 2017)。しかしながら、地域より得られたタケ資源から直接タケパルプを製造し、それをナノ化して利用する場合、このようにして製造されたタケ由来 CNF に食経験があるわけではない。そのため、さらに広範な安全性に関する知見の蓄積によって、タケ CNF の食分野での利用展開が可能になると考える。

謝 辞

本研究の一部は、生物系特定産業技術研究支援センターによる革新的技術創造促進事業「工学との連携による農林水産物由来の物質を用いた高機能性素材等の開発」の一環として実施した。関係各位と酵素製剤を供与頂いた各酵素メーカーへ御礼申し上げる。成分分析は日本食品分析センターで実施した。また、ビーズミルの粉碎試験ではアシザワ・ファインテック株式会社、摩擦荷重測定では山電株式会社の担当の方々にご協力いただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- Bouwmeester, H., Brandhoff, P., Marvin, H. J. P., Weigel, S. and Peters, R. J. B. (2014) State of the safety assessment and current use of nanomaterials in food and food production. *Trend Food Sci. Technol.*, 40, 200-210.
- EFSA Scientific Committee (2011) Scientific opinion on guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. *EFSA Journal*, 9:2140, 36pp.
- Future Markets (2019) Nanocellulose investment and pricing guide. Future Market Inc., 53-195.
- 林 徳子 (2012) 酵素加水分解を用いたセルロースナノファイバーの生産法. *日本ゴム協会誌*, 85, 394-399.
- 林 徳子・下川 知子・渋谷 源・野尻 昌信・真柄 謙吾・池田 努・戸川 英二・久保 智史 (2015) 環境にやさしいセルロースナノファイバー製造技術—叩き潰さずにほぐします—. *森林総合研究所平成 27 年版研究成果選集*, 34-35pp.
- Henriksson, M., Henriksson, G., Berglund, L. A. and Lindström, T. (2007) An environmentally friendly method for enzyme-assisted preparation of microfibrillated cellulose (MFC) nanofibers. *Eur. Polym. J.* 45, 3434-3441.
- 平田 悟史 (2017) トコトンやさしいナノセルロースの本. *ナノセルロースフォーラム編*. 日刊工業新聞社, 24-63.
- 神野 和人 (2015a) 増粘剤・ゲル化剤への応用. *ナノセルロースフォーラム編*, 図解よく分かるナノセルロース, 日刊工業新聞社, 168-169.
- 神野 和人 (2015b) 乳化分散安定剤への応用. *ナノセルロースフォーラム編*, 図解よく分かるナノセルロース, 日刊工業新聞社, 170-171.
- Isogai, A. (2015) Structural characterization and modifications of surface-oxidized cellulose nanofiber. *J Jap. Petroleum Inst.*, 58, 365-375.
- 近藤 哲男 (2016) ナノセルロースが拓く新しい世界—環境にやさしいバイオ系ナノ材料の特色と応用—. *化学*, 71, 33-38.
- 森本 裕輝 (2015) ウォータージェット解繊によるナノ

- セルロース「BiNF-i-s」. ナノセルロースフォーラム編, 図解よく分かるナノセルロース, 日刊工業新聞社, 104-105.
- 渋谷 源・林 徳子 (2008) セルロースナノファイバーとその製造方法. 特開 2008-150719.
- Shibuya, H. and Kikuchi T. (2008) Purification and characterization of recombinant endoglucanase from the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*. Biosci. Biotechnol. Biochem., 72, 1325-1332.
- 下川 知子・池田 努・眞柄 謙吾・品川 早苗・品川 日出夫・野尻 昌信・大原 誠資 (2013) *T. reesei* 及び低胞子性 *A. tubingensis* のカクテル酵素を用いたタケパルプからの同時糖化発酵によるエタノール生産. J. Jpn. Inst. Energy., 92, 970-974.
- Shimokawa, T., Shibuya, H. Ikeda, T., Magara, K., Shinagawa, S., Shinagawa, H., Nojiri, M. and Ohara, S. (2013) Ethanol production from sugi pulp under simultaneous saccharification and fermentation using a cocktail enzyme of *T. reesei* and *A. tubingensis* produced by solid-state fermentation. J. Wood Sci., 59, 171-178.
- Shimonaka, A., Koga, J., Baba, Y., Kishimura, T., Murashima, K., Kubota, H. and Kono T. (2006) Specific characteristics of Family 45 ebdiglucanase from Mucorales in the use of textiles and laundry. Biosci. Biotech. Biochem., 70, 1013-1016.
- 矢野 浩之 (2018) セルロースナノファイバー -- 木の国日本の資源 --. 生存圏研究, 14, 1-7.

Cellulose nanofiber production from bamboo by enzymatic pretreatment for wet milling process using bead mill aiming at application to food materials

Tomoko SHIMOKAWA^{1)*}, Tsutomu IKEDA, Kengo MAGARA²⁾, Eiji TOGAWA¹⁾, Masaya NAKAMURA¹⁾, Yuichiro OTSUKA¹⁾, Masanobu NOJIRI¹⁾, Tetsuya TAKAO³⁾, Mutsumi OGAWA³⁾, Eiko NAKAYAMA³⁾ and Noriko HAYASHI^{1)*}

Abstract

A nano-fibrillation process of bamboo resources to produce cellulose nanofiber was developed for future application to food materials. Bamboo pulp, which was prepared by soda cooking, was assisted by a commercially available cellulase derived from *Aspergillus* to allow smooth performance of the subsequent bead mill pulverization. In the bead milling, the diameter and speed of the zirconia beads in the milling vessel, and grinding time impacted the properties of the resulting microfibrillated pulp slurry. The progress of pulverization was confirmed with particle size distribution analysis, as well as the observation with a transmission electron microscope. Based on the morphology, particle size distribution, film strength, and friction characteristics, the pretreatment using a food additive *Aspergillus*-derived enzyme for pulverization using zirconia beads of 1-mm diameter was verified to provide bamboo cellulose nanofiber. No abnormality was observed on acute oral toxicity test, with an LD₅₀ value of >2,000 mg/kg in mice.

Key words : cellulose nanofiber, bamboo, pulp, cellulase, wet milling, food material

Received 29 May 2020, Accepted 24 August 2020

1) Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI

2) Research Director, FFPRI

3) Graduate School of Life Sciences, Showa Woman's University

* Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN E-mail: tsimo@ffpri.affrc.go.jp

論文 (Original article)

液体窒素凍結保存がマツタケの菌糸伸長および
菌根形成能に与える影響小長谷 啓介^{1)*}、山中 高史²⁾

要旨

液体窒素を用いた凍結保存は、担子菌類の菌株を長期間保存するのに優れた手法とされている。しかし、当手法によって菌株の形質が安定的に保存されるのか評価した研究は非常に少ない。本研究では、液体窒素凍結保存がマツタケ菌株の菌糸伸長と菌根形成能に及ぼす影響を調査した。マツタケ4菌株の菌糸体を、パーミキュライトと栄養培地入りのクライオバイアル（以下、バイアル）中で前培養した。次に、凍結保護剤（最終濃度、ジメチルスルホキシド5%、トレハロース10%）を加え、凍結容器またはプログラムフリーザーを用いて、 -1°C /分の冷却速度で -80°C まで冷凍し、液体窒素で気相保存した。1菌株（Y1株；IFO33136株と同一）は最長3年間、その他の3菌株は最長2年間保存した。保存後に再生した菌糸体を菌糸伸長試験およびアカマツを用いた菌根合成試験に供試した。その結果、全ての菌株は良好な菌糸再生率を示した。また全ての菌株は凍結保存後もアカマツ実生苗に菌根を形成した。以上から、本研究で用いた液体窒素凍結保存手法は、菌糸伸長および菌根形成能を大きく損なうことなくマツタケ菌株を安定的に長期間保存するのに有効と考えられた。

キーワード：食用菌類、保存、共生、トレハロース、パーミキュライト

1. はじめに

マツタケ (*Tricholoma matsutake*) は、本州ではアカマツ、北海道ではトドマツやアカエゾマツ等の特定の針葉樹の根に共生して生育する外生菌根菌である (Yamanaka et al. 2020)。外生菌根菌は、樹木の細根の表面を菌糸が密に覆った鞘状の構造（マントル；mantle）と、その内側の皮層細胞間隙に菌糸が侵入した構造（ハルティヒネット；Hartig net）で特徴づけられる、「外生菌根」を形成する菌類の総称である (Smith and Read 2010)。この外生菌根における根の細胞と菌糸が接する境界面で養分・水分のやり取りが行われ、その結果、宿主植物と外生菌根菌の両者の成長は大きく促進される (Smith and Read 2010)。そして、この相利共生的な相互作用を経て、外生菌根菌は繁殖体である子実体（きのこ）を発生させる。通常、宿主植物の存在しない野外環境で外生菌根菌が子実体を発生させることは無い。そのため、外生菌根菌は子実体の形成に必要な栄養分の獲得を、宿主樹木から得られる光合成産物等に強く依存していると考えられている (e.g., Last et al. 1979)。マツタケも例外ではなく、野外では宿主樹木の根に外生菌根を形成し、さらに土壤中に菌根と菌糸体が密集した塊である「シロ」と呼ばれる特徴的な共生構造を発達させて、子実体を発生させる (小川

1975)。そのため、マツタケの人工栽培の実現のカギとなる要因の一つとして、外生菌根とシロの形成・発達が挙げられ、アカマツなどの針葉樹の根にマツタケを人工的に共生させた苗（菌根苗）の作成 (Yamada et al. 1999, 小林ら 2007) や、菌根苗の植栽による林地へのマツタケ菌の定着の試み (枯木・川上 1985, 小林ら 2015) など、宿主樹木とマツタケの菌根共生を確立・維持・拡大させるための各種試験研究が進められている (Yamanaka et al. 2020)。

一般的に、外生菌根菌の生理・生態学的な特徴は、同一種内であっても純粋培養株（菌株；単一の菌類を分離培養したもの）間で大きく異なることが知られている (Cairney 1999)。マツタケの場合も同様に、菌糸成長量 (Kusuda et al., 2008, Yamada et al. 2019) や、外生菌根の形成能力（菌根形成能） (Saito et al. 2018) が菌株間で異なることが報告されている。さらに、ある菌株では栄養等の環境条件を調整した環境下で、マツタケの子実体原基らしき構造を形成したという報告 (小川・浜田 1975；川合・小川 1976) もあることから、菌株によって、菌糸成長量や菌根形成能など子実体の発生に関与する形質は大きく異なると考えられる。こうしたきのこ栽培において有望と考えられる形質を保有した菌株を得た場合、その

原稿受付：令和2年6月16日 原稿受理：令和2年10月8日

1) 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域

2) 森林総合研究所 研究ディレクター

* 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

形質をできるだけ損なわずに長期間安定的に菌株を保存し利用することが、後継の基礎研究およびきのこ栽培等の応用研究を展開する上で必須となる。

この菌株の保存方法として一般的に用いられているのが継代培養（培養した菌糸体の一部を新しい培地に移す操作）である。しかし、同手法は、定期的に作業を行わなければならない、手間がかかる。また、継代培養に伴う生育の劣化、突然変異による遺伝的な変化（e.g., Sakurai et al. 2019）や他の微生物等の混入による汚染など、重要な菌株を損なう様々なリスクが指摘されている（Homolka 2014）。また、最も優れた保存方法の一つである凍結乾燥は、分生子（菌糸体が形成する無性的な胞子）や胞子、また培地上にそれらの構造を形成する菌類の保存に最適であるが、そのような器官を培地上に形成しないマツタケなどの担子菌類の多くは、凍結乾燥後に死滅してしまうなど、同手法の適用に適していない（Tan et al. 1991, Nakasone et al. 2004）。現在、担子菌類については、ディープフリーザーあるいは液体窒素を用いた凍結保存が菌株の長期保存に相当とされており、様々な菌種を対象にその有効性が検討されてきた（e.g., Homolka 2014, Linde et al. 2018, Sato et al. 2019, 2020）。マツタケに関しては、ディープフリーザー（ -80°C ）による凍結保存によって、26 菌株中 20 菌株は 1 年間、そのうちの 15 菌株は 15 年間保存後も生残していたという報告がある（Ito and Nakagiri 1996）。一方、マツタケ菌糸体を増殖させたパーライトを、ディープフリーザー（ -80°C ）で凍結保存した研究では、供試した 26 菌株のうち 1 菌株を除く全てが 1 年間保存後も高い割合（70–100%）で生残したものの、そのうちの 10 菌株では 2 カ月間保存後に比べて 1 年間保存後の菌糸体の菌糸伸長が有意に低くなったという報告（Sato et al. 2019）もある。これらに対し、凍結に際して菌糸体が死滅または変異する要因である氷の結晶の形成や、生物細胞内で起こる代謝等の生物・物理学的プロセスがほぼ停止する約 -139°C 以下で保存可能な液体窒素による凍結保存は、ディープフリーザーよりも優れた保存方法と考えられている（e.g., Nakasone et al. 2004）。しかし、マツタケに関しては同手法を試した研究例は少なく、マツタケが属するキシメジ属 88 菌株のうち 83 菌株が 1 年間保存後も生残していたという報告（Nagai et al. 2005）と、やや菌糸伸長量が低下したもののキシメジ 1 菌株が 1 年間保存後も 100% の生残率を示したという報告（Sato et al. 2020）があるにすぎない。同保存処理がマツタケ菌の菌糸成長量や菌根形成能など、きのこの発生に関与し得る形質に及ぼす影響を調査した研究例も無く、その有効性は明らかでない。

本研究では、液体窒素凍結保存によって、菌糸伸長と菌根形成能を損なうことなくマツタケ菌株を安定的に保存できるか検証した。

2. 方法

2.1 菌株

試験に供試したマツタケの菌株は、予備調査においてアカマツ稚樹に菌根を形成することを確認した Y1（＝IFO33136 株、採取地：茨城県、採取年：1993、由来：きのこの肉組織）、S2T1（採取地：長野県、採取年：2016、由来：きのこの肉組織）、S1（採取地：長野県、採取年：2016、由来：胞子）、S9（採取地：長野県、採取年：2016、由来：胞子）の 4 菌株とした。各菌株は、試験に用いられるまで、暗室、 23°C の環境下で、太田寒天培地（Ohta 1990）を用いて継代培養した。以降、菌株の培養温度条件について具体的な記述が無い場合、すべて「暗室、 23°C 」の条件下で行ったものとする。

2.2 凍結保存の手順

2.2.1 試料の調整

凍結保存の手法は、中桐（2014）、Sato et al.（2020）を参考とした。1.8 mL の Nunc Cryotube vial（377267；Thermo Scientific, Roskilde, Denmark）（以降、バイアルとする）に、 121°C で 30 分間オートクレーブ滅菌した 2–3 mm 角のバーミキュライト（GS 30L、ニッタイ）を 5 片加え、滅菌した太田液体培地を 0.2 mL 添加した。次に、太田寒天培地で 2 週間培養したマツタケのコロニー外縁部から、3–5 mm 角のマツタケ菌糸片を切り抜き、バイアルに接種して、3 週間培養した。

凍結保護剤には、先行研究で担子菌類の凍結保存に有効と指摘されているジメチルスルホキシド（DMSO）（043-07216；Wako）とトレハロース（Hayashibara）の混合水溶液を用いた（Delalibera Jr et al. 2004, Sato et al. 2019, 2020）。まず、12.8% トレハロース水溶液（w/v）を 121°C で 15 分間オートクレーブ滅菌した後に、非滅菌の DMSO を 6%（w/v）となるように添加した。マツタケ菌が培養されている各バイアルには予め 0.2 mL の太田液体培地が添加されているため、最終濃度が DMSO は 5%、トレハロースは 10% となるように、混合溶液を 1 mL 充填した。

2.2.2 凍結

試料の凍結は 2 つの方法のいずれかを用いた。まず 1 つ目は、Cryo 1°C Freezing Container（5100-0001；NALGENE）（以降、凍結容器とする）とディープフリーザー（ -80°C ）を用いた。凍結容器のプロトコルに従ってイソプロパノールを充填しバイアルをセットして、ディープフリーザー内で 2 時間静置した。このとき、プロトコルによれば冷却速度は毎分約 -1°C の条件で -80°C まで冷却される。次に 2 つ目の方法はプログラムフリーザー（PDF-150；Nepa Gene）を用いた。毎分約 -1°C の冷却速度で -80°C に達するまで冷凍した。以降、凍結容器を用いた一連の試験を試験 A、プログラムフリーザーを用いた一連の試験を試験 B とする。試験 A には Y1 株のみを、

試験 B には全ての菌株を供試した。

2.2.3 保存

-80°C まで冷却した各バイアルをすばやくフリーズボックスに移し、液体窒素を充填したローケータープラス (CY50925-70; Thermo Scientific) の気相部分 (-180°C) に静置した。保存期間は、試験 A では 1、3、6、12、24、36 ヶ月間、試験 B は 6、12、18、24 ヶ月間とした。供試したバイアルの数は、各試験、各菌株の各保存期間の処理区ごとに 5 とした。

2.2.4 試料の解凍

ローケータープラスから取り出したバイアルを、直ちにぬるま湯 (約 40°C) の中に数分間浸して急速解凍を行った。次に、バイアルからパーミキュライト片を取り出し、太田寒天培地上に静置して、約 1 ヶ月間培養した。マツタケ菌糸が再生したバイアル数を生残頻度として記録した。

2.3 菌糸伸長試験

各試験、各菌株の各保存処理区の 1 つのバイアルから再生した菌糸体の一部を別の太田寒天培地上で 1 ヶ月間培養した。次に径 8 mm のコルクボーラーを用いてコロニー外縁部を打ち抜き、得られた 5 つの培地片 (以降、菌糸プラグとする) それぞれを、新たな太田寒天培地の中心部に静置した。そして、培養開始 30 日後にコロニーの直径を計測した。対照区は凍結保存前のコロニーから得た 5 つの菌糸プラグを用いた。

2.4 外生菌根の形成試験

2.4.1 菌糸体の培養

菌根苗を作成する用土は、粒径 3-6 mm の市販の日向土 (小粒; シゼン) とした。日向土に紛れている小石や微細な粒を取り除くため、水道水中に浸して浮いてきた日向土のみを目開き 2 mm の篩で回収した。そして、60°C の送風定温乾燥器で数日間十分に乾燥して試験に使用した。450 mL の SM サンプル瓶 (マヨネーズ瓶) (85-1944; Sansyo) に、250 mL の日向土と 100 mL の太田液体培地を添加した。瓶の蓋は専用の穴あき TPX キャップ (85-2699; Sansyo) を用い、穴の部分を MilliSeal (FWMS01800; Merck) で塞ぎ、121°C で 15 分間オートクレーブ滅菌し、クリーンベンチ内で室温まで冷却した。

接種源は、2.3 で菌糸プラグを作成したコロニーから別の菌糸プラグを切り取り、2 mL の太田液体培地中で 2 週間培養したものをを用いた。マヨネーズ瓶 1 本あたり、菌糸プラグを 2 つ接種し、1 ヶ月間培養した。対照区は凍結保存前のコロニーから得た菌糸プラグを用いた。培養に供試したマヨネーズ瓶の数は、各試験、各菌株の各保存区につき 5 とした。

2.4.2 無菌実生苗の作成

アカマツの種子を 30% 過酸化水素 (081-04215; Wako) で 30 分間表面殺菌し、予めオートクレーブ滅菌した脱イオン水でゆすいだ後に、素寒天培地 (寒天 1.0%, 010-15815; Wako) 上に静置した。照明付きインキュベーター (FLI-2010A; EYELA) 内で、明期 23°C、16 時間、暗期 20°C、8 時間の条件で 10-14 日間培養し、発芽した無菌実生を後の試験に供試した。

2.4.3 外生菌根の形成

2.4.1 で菌糸体を培養したマヨネーズ瓶 1 本あたりに、3 本のアカマツ無菌実生を移植した。この際に、マヨネーズ瓶内のマツタケ菌糸の蔓延を促すため、無菌実生の移植直前に、火炎滅菌した藁さじでマツタケ菌糸体と日向土の塊を崩して、攪拌した。無菌実生を移植したマヨネーズ瓶は、瓶下面および側面の日向土が充填された部分をアルミホイルで遮光し、照明付きインキュベーター内で、明期 23°C、16 時間、暗期 20°C、8 時間の条件で 5 ヶ月間育苗した。

2.4.4 外生菌根の形成状況

アカマツ苗をマヨネーズ瓶内から取り出して、実体顕微鏡 (SZX12; Olympus) 下で根系を観察した。Yamada et al. (1999) や Yamanaka et al. (2014) で見られるようなマツタケの外生菌根が形成された根端数を計測した。全ての根端数に対する外生菌根の根端数の割合を菌根形成率とし、外生菌根の形成状況を評価した。

2.5 データ解析

保存期間の異なる処理区間で菌糸伸長量を比較するため、一元配置分散分析を行った。事後検定は Tukey's test を用いた。統計解析は PAST 3.01 (Hammer et al. 2001) を用いた。

3. 結果

3.1 生残頻度

試験 A では、24 ヶ月間保存区で 1 試料の菌糸体が死滅した他は、全てのバイアルから Y1 株の菌糸体が再生した。試験 B では Y1 株の 12 ヶ月間保存区で 4 試料の菌糸体が死滅したが、その他の全てのバイアルからは菌糸体が再生した (Fig. 1)。

3.2 菌糸伸長

試験 A では、Y1 株の 24 ヶ月間保存区のコロニー直径が対照区よりも有意に長く、平均で 3.6 mm の差であった (Table 1)。試験 B では、Y1 株および S1 株の 6 ヶ月間保存区のコロニー直径が対照区よりも有意に短く、それぞれ平均で 5.7 mm、5.2 mm の差であった。S2T1 株では 24 ヶ月間保存区のコロニー直径が対照区よりも有意に長く、平均で 3.8 mm の差であった。S9 株では処理区間

で有意差は見られなかった。

3.3 菌根形成率

試験 A では、対照区の平均 7.9% から 3 ヶ月間保存区の平均 27.3% まで菌根形成率に幅が見られたものの、全処理区の全てのアカマツ稚樹は外生菌根を形成していた (Fig. 2, Table 2)。試験 B では、S2T1 株の対照区で菌根合成に失敗した以外は、試験 A と同様に処理区間で菌根形成率に幅があったものの、全て (5/5) またはほとんど (4/5) のアカマツ稚樹は外生菌根を形成していた。

4. 考察

液体窒素凍結保存が菌株の形質に及ぼす影響について

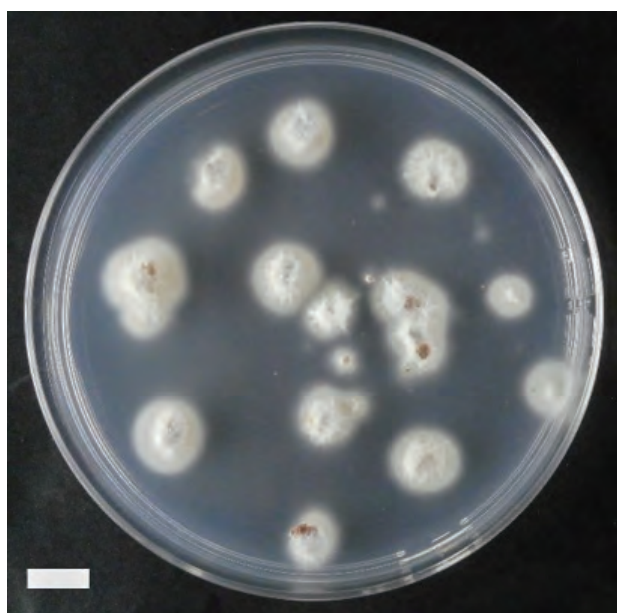


Fig. 1. *Tricholoma matsutake* strain S2T1 recovered after 2 years storage with liquid nitrogen. A bar indicates 1 cm.

は、これまでに菌糸伸長速度、酵素活性 (Homolka et al. 2006, 2010, Eichlerová and Homolka 2014, Sato et al. 2020)、遺伝的な特徴 (Homolka et al. 2010, Crahay et al. 2017)、子実体の発生量 (Singh et al. 2004)、菌根形成能 (Crahay et al. 2013, Piattoni et al. 2017) など、様々な性状を対象に試験が行われてきた。そのいずれも凍結保存の影響はない、または軽微と報告されている。本研究でも、対照区および凍結保存期間の異なる処理区間でコロニー直径に有意な差が確認されたものの、その差は数 mm 程度で比較的小さかった。また、マツタケ菌株による菌根の形成率は、処理区間で値に大きな幅があり、菌根の形成率が著しく低い、あるいは菌根の形成が見られなかったアカマツ苗も少数見られたが、全ての処理区において高頻度で菌根の形成が確認された。S2T1 株の対照区で菌根が形成されなかったが、予備調査では菌根の形成を確認していることから、本試験において何らかの別の問題、例えばバクテリアによる汚染、培養期間中における菌糸体の死滅、菌糸体と根が十分に接触できなかった、などが考えられる。最後に、保存期間の長さに応じて、試料の生残頻度や菌糸伸長量、菌根形成能が低下するような傾向は見られなかった。以上から総合的に見ると、本研究で用いた液体窒素凍結保存方法は、菌糸伸長および菌根形成能を大きく損なうことなくマツタケ菌株を安定的に長期間保存するのに有効と考えられた。

凍結保存に供試した試料のうち一部が死滅する例は、ごく一般的に見られる (e.g., Sato et al. 2019)。本試験においても、試験 B の Y1 株の 12 ヶ月間保存区のみで、高頻度 (5 試料中 4 試料) で菌糸体が死滅していた。試験 B では試料の調整、凍結、解凍は全て同時に同じ条件で行っている。また、Y1 株の 12 ヶ月間保存区のバーミキュライト片には、培養後に伸長したと思われる菌糸体を確認されたので、試料の調整時に同処理区のみ選択的にマツタケの菌糸が死滅したとは考えにくい。こうした推測不可能な理由による菌株の損失を防ぐためには、例えば反覆

Table 1. The diameter of the mycelial colonies of *Tricholoma matsutake* strains, which were recovered after frozen storage with liquid nitrogen for various durations (1–36 months) and incubated on modified Melin-Norkrans agar media for 1 month.

Strain	Control	1 mo	3 mo	6 mo	12 mo	18 mo	24 mo	36 mo
Experiment A								
Y1	36.0 ± 1.2a	38.2 ± 1.0 ^{ab}	38.9 ± 1.8 ^{ab}	37.8 ± 1.8 ^{ab}	39.4 ± 1.4 ^{ab}	-	39.6 ± 2.0 ^b	38.6 ± 1.8 ^{ab}
Experiment B								
Y1	40.2 ± 2.7 ^a	-	-	34.5 ± 1.3b	38.7 ± 1.1 ^{ab}	38.2 ± 3.0 ^{ab}	40.2 ± 2.2 ^a	-
S2T1	29.2 ± 1.5 ^{ab}	-	-	32.2 ± 1.3 ^{bc}	30.8 ± 1.1 ^{bc}	27.4 ± 2.9 ^a	33.0 ± 1.2 ^c	-
S1	28.5 ± 2.3 ^a	-	-	23.3 ± 2.8 ^b	28.0 ± 2.0 ^a	28.2 ± 2.0 ^a	28.6 ± 1.6 ^a	-
S9	25.4 ± 1.6 ^a	-	-	24.6 ± 2.0 ^b	23.3 ± 1.2 ^{ab}	23.6 ± 1.3 ^{ab}	24.7 ± 1.8 ^a	-

-, not determined.

Average ± standard deviation are indicated.

Different letters indicate significant differences among treatments with different frozen storage duration at $P < 0.05$ (Tukey's test).

数を増やす（10 以上）などの手立てを講じる必要があるだろう。

本研究で用いた凍結保存方法は、中桐（2014）や中桐氏の私信を基に設定したもので、各手順については今後さらにマツタケ保存用に改良していくことが望ましい。例えば、試料の調整（2.2.1 節）ではパーミキュライトを培養時の担体に利用したが、Sato et al.（2019）による -80°C の凍結保存試験では、パーライトを用いて良好な結果が得られている。一方、マツタケの菌根形成試験で用いた日向土は粒の強度が高く黄土色なので、パイアル内でマツタケの菌糸の蔓延が視認しやすいなど、扱いやすい利点がある。予備試験では日向土を担体に用いた

ところ、保存 1 日後にマツタケ菌体の生残を確認しているので（小長谷 未発表）、長期の凍結保存にも適用できる可能性がある。次に、試験 A では試料を凍結するのに安価な凍結容器を使用したか、高価なプログラムフリーザーを利用した試験 B と同等の良好な結果が得られた。同規格の凍結容器と高価なプログラムフリーザー（別規格）の使用を比較した研究は他にも 1 例（Eichlerová and Homolka 2014）あり、両手法による結果はほぼ変わらなかったと報告されている。本研究と類似した凍結手法を用いている Sato et al.（2020）でも凍結容器が使用されており、全供試菌株が 1 年保存後も生残していたと報告している。プログラムフリーザーは冷却プロセスを正確に

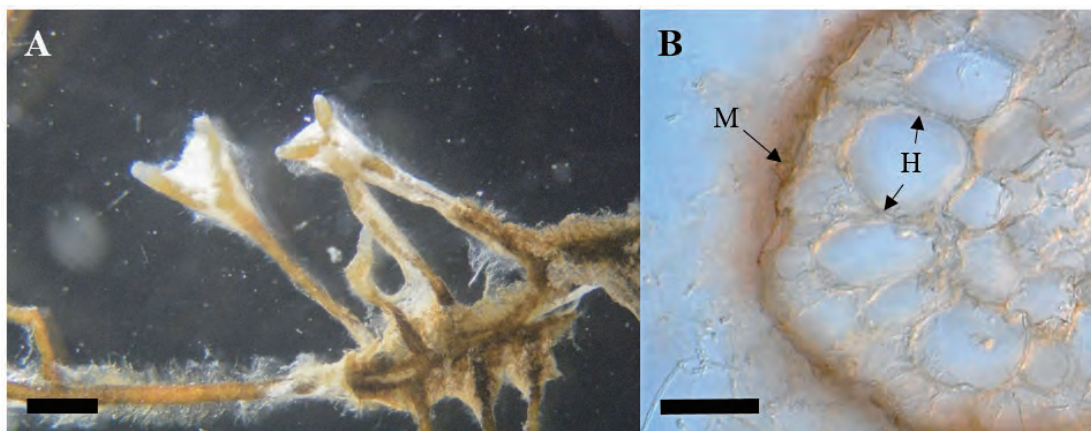


Fig. 2. Ectomycorrhizas formed in the roots of *Pinus densiflora* by *Tricholoma matsutake* strain Y1 that was recovered after 3 years of frozen storage with liquid nitrogen (A). The presence of mantle (M) and Hartigs net (H) was validated using a cross section of the ectomycorrhizal root tip (B). Bars indicate 1 mm (A) and 50 μm (B), respectively.

Table 2. Ectomycorrhizal colonization in the roots of *Pinus densiflora* seedlings by *Tricholoma matsutake* strains, which were recovered after frozen storage with liquid nitrogen for various durations (1–36 months).

Strain	Control	1 mo	3 mo	6 mo	12 mo	18 mo	24 mo	36 mo
Experiment A								
Y1	7.9 $\pm$ 6.4 (4/4) ¹	25.2 $\pm$ 7.1 (5/5)	27.3 $\pm$ 21.3 (5/5)	13.9 $\pm$ 7.0 (5/5)	23.5 $\pm$ 7.1 (5/5)	-	9.1 $\pm$ 5.7 (5/5)	24.8 $\pm$ 7.2 (5/5)
Experiment B								
Y1	16.3 $\pm$ 8.8 (5/5)	-	-	3.4 $\pm$ 4.5 (4/5)	3.1 $\pm$ 3.0 (5/5)	13.6 $\pm$ 12.2 (5/5)	21.4 $\pm$ 5.8 (5/5)	-
S2T1	0 (0/5)	-	-	15.7 $\pm$ 12.7 (4/5)	1.1 $\pm$ 0.9 (4/5)	6.1 $\pm$ 1.9 (5/5)	5.5 $\pm$ 3.7 (4/5)	-
S1	0.7 $\pm$ 0.6 (4/5)	-	-	0.3 $\pm$ 0.3 (3/5)	6.1 $\pm$ 3.2 (5/5)	8.1 $\pm$ 8.0 (4/5)	11.0 $\pm$ 12.0 (4/4) ¹	-
S9	3.5 $\pm$ 4.1 (4/5)	-	-	9.3 $\pm$ 10.0 (4/5)	3.2 $\pm$ 4.1 (5/5)	6.8 $\pm$ 5.2 (5/5)	2.8 $\pm$ 0.7 (5/5)	-

-, not determined.

Average $\pm$ standard deviation of the percentage of ectomycorrhizal colonization are indicated. The ratios of frequencies of pine seedlings which formed ectomycorrhizas are indicated in parentheses.

¹ One replicate was lost due to contamination by other saprophytic fungi.

設定し、試料の冷却状況をモニタリングできるので試験の再現性・信頼性は高いが、設備費が非常に高い。マツタケの場合、安価な凍結容器で代替しても、試料の生残率の低下や形質の変化等の重大な問題は起こらないと思われる。

本研究では Y1 株は最長 3 年間、その他の 3 菌株は最長 2 年間保存したが、保存期間の長さによって菌株の形質が劣化するような明確な傾向は見られなかった。今後は、本凍結手法の実用性、すなわちより長期間の菌株保存に有効であるか明らかにするため、例えば 10 年以上保存した菌株について同様の試験を行う必要があるだろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、用いた菌株の一部は、長野県林業総合センターから御提供頂いた。また、森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域 微生物生態研究室の室員のご助力を頂いた。心から御礼申し上げる。本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適に利用するための技術開発」研究課題「高級菌根性きのこ栽培技術の開発」により実施した。

引用文献

- Cairney, J. W. G. (1999) Intraspecific physiological variation: implications for understanding functional diversity in ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 9, 125-135.
- Crahay, C., Munaut, F., Colpaert, J. V., Huret, S. and Declerck, S. (2017) Genetic stability of ectomycorrhizal fungi is not affected by cryopreservation at -130°C or cold storage with repeated sub-cultivations over a period of 2 years. *Mycorrhiza*, 27, 595-601.
- Crahay, C., Wevers, J., Munaut, F., Colpaert, J. V. and Declerck, S. (2013) Cryopreservation of ectomycorrhizal fungi has minor effects on root colonization of *Pinus sylvestris* plantlets and their subsequent nutrient uptake capacity. *Mycorrhiza*, 23, 463-471.
- Delalibera Jr, I., Humber, R. A. and Hajek, A. E. (2004) Preservation of in vitro cultures of the mite pathogenic fungus *Neozygites tanajoae*. *Can. J. Microbiol.*, 50, 579-586.
- Eichlerová, I. and Homolka, L. (2014) Preservation of basidiomycete strains on perlite using different protocols. *Mycoscience*, 55, 439-448.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. and Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4, 9.
- Homolka, L. (2014) Preservation of live cultures of Basidiomycetes—recent methods. *Fungal Biol.*, 118, 107-125.
- Homolka, L., Lisá, L., Eichlerová, I., Valášková, V. and Baldrian, P. (2010) Effect of long-term preservation of basidiomycetes on perlite in liquid nitrogen on their growth, morphological, enzymatic and genetic characteristics. *Fungal Biol.*, 114, 929-935.
- Homolka, L., Lisá, L. and Nerud, F. (2006) Basidiomycete cryopreservation on perlite: evaluation of a new method. *Cryobiology*, 52, 446-453.
- Ito, T. and Nakagiri, A. (1996) Viability of frozen cultures of Basidiomycetes after fifteen-year storage. *Microbiol. Cult. Coll.*, 12, 67-78.
- 枯木 熊人・川上 嘉章 (1985) マツタケ菌感染苗によるシロの人工形成. 広島県林試研報, 20, 13-23.
- 川合 正允・小川 真 (1976) まつたけの培養に関する研究. 第 4 報 種菌培養の検討と菌床栽培の試み. 日本菌学会報, 17, 499-505.
- 小林 久泰・寺崎 正孝・山田 明義 (2015) マツ林に野外植栽したマツ苗におけるマツタケ外生菌根の 2 年間の生存. 日本きのこ学会誌, 23, 108-113.
- 小林 久泰・綿引 健夫・倉持 眞寿美・小野瀬 究明・山田 明義 (2007) 大型培養容器によるマツタケのシロ様構造を有するマツ菌根苗の生産. 日本きのこ学会誌, 15, 151-155.
- Kusuda, M., Ueda, M., Miyatake, K. and Terashita, T. (2008) Characterization of the carbohydrase productions of an ectomycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake*. *Mycoscience*, 49, 291-297.
- Last, F. T., Pelham, J., Mason, P. A. and Ingleby, K. (1979) Influence of leaves on sporophore production by fungi forming sheathing mycorrhizas with *Betula* spp. *Nature*, 280(5718), 168-169.
- Linde, G. A., Luciani, A., Lopes, A. D., Valle, J. S. D., and Colauto, N. B. (2018) Long-term cryopreservation of basidiomycetes. *Brazilian J. Microbiol.*, 49(2), 220-231.
- Nagai, T., Tomioka, K., Takeuchi, K., Iida, M., Kawada, M. and Sato, T. (2005) Evaluation of preservation techniques of microorganism resources in the MAFF Genebank. *JARQ*, 39, 19-27.
- 中桐 昭 (2014) 菌類培養株の凍結保存法の改良. 日本微生物資源学会誌, 30, 51-63.
- Nakasone, K. K., Peterson, S. W. and Jong, S. C. (2004) Preservation and distribution of fungal cultures. In Mueller, G. M., Bills, G. F. and Foster M. S. (eds.) "Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods". Elsevier Academic Press, Amsterdam, 37-47.
- 小川 真 (1975) アカマツ林における菌根菌—マツタケ—の微生物生態学的研究 (I) マツタケのシロ. 林試研報 272: 79-121.
- 小川 眞・浜田 稔 (1975) 純粋培養によるマツタケ子実体原基の形成. 日菌報, 16, 406-415.
- Ohta, A. (1990) A new medium for mycelial growth of mycorrhizal fungi. *Trans. Mycol. Soc. Japan*, 31, 323-334.

- Piattoni, F., Leonardi, P., Siham, B., Iotti, M. and Zambonelli, A. (2017) Viability and infectivity of *Tuber borchii* after cryopreservation. *CryoLetters*, 38, 58-64.
- Saito, C., Ogawa, W., Kobayashi, H., Yamanaka, T., Fukuda, M. and Yamada, A. (2018) In vitro ectomycorrhization of *Tricholoma matsutake* strains is differentially affected by soil type. *Mycoscience*, 59, 89-97.
- Sakurai, K., Yuasa, M., Ohji, S., Hosoyama, A., Sato, M., Fujita, N. and Kawasaki, H. (2019) Gene mutations in *Ganoderma lucidum* during long-term preservation by repeated subculturing. *Biopreserv. Biobank.*, 17, 395-400.
- Sato, M., Inaba, S., Noguchi, M., and Nakagiri, A. (2020) Vermiculite as a culture substrate greatly improves the viability of frozen cultures of ectomycorrhizal basidiomycetes. *Fungal Biol.*, 124, 742-751.
- Sato, M., Inaba, S., Sukenobe, J., Sasaki, T., Inoue, R., Noguchi, M. and Nakagiri, A. (2019) A modified perlite protocol with a mixed dimethyl sulfoxide and trehalose cryoprotectant improves the viability of frozen cultures of ectomycorrhizal basidiomycetes. *Mycologia*, 111, 161-176.
- Singh, S. K., Upadhyay, R. C., Kamal, S. and Tiwari, M. (2004) Mushroom cryopreservation and its effect on survival, yield and genetic stability. *CryoLetters*, 25, 23-32.
- Smith, S. E. and Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press, 787pp.
- Tan, C. S., van Ingen, C. W. and Stalpers, J. A. (1991) Freeze-drying of fungal hyphae and stability of the product. In van Griensven, L. J. L. D. (ed.) "*Genetics and Breeding of Agarics*". Pudoc, Wageningen, Netherlands, 25-30
- Yamada, A., Hayakawa, N., Saito, C., Horimai, Y., Misawa, H., Yamanaka, T. and Fukuda, M. (2019) Physiological variation among *Tricholoma matsutake* isolates generated from basidiospores obtained from one basidioma. *Mycoscience*, 60, 102-109.
- Yamada, A., Kanekawa, S. and Ohmasa, M. (1999) Ectomycorrhiza formation of *Tricholoma matsutake* on *Pinus densiflora*. *Mycoscience*, 40, 193-198.
- Yamanaka, T., Ota, Y., Konno, M., Kawai, M., Ohta, A., Neda, H., Terashima, Y. and Yamada, A. (2014) The host ranges of conifer-associated *Tricholoma matsutake*, Fagaceae-associated *T. bakamatsutake* and *T. fulvocastaneum* are wider in vitro than in nature. *Mycologia*, 106, 397-406.
- Yamanaka, T., Yamada, A. and Furukawa, H. (2020) Advances in the cultivation of the highly-prized ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake*. *Mycoscience*, 61, 49-57.

Effect of frozen storage with liquid nitrogen on the abilities of mycelial growth and ectomycorrhizal formation of the strains of *Tricholoma matsutake*

Keisuke OBASE^{1)*} and Takashi YAMANAKA²⁾

Abstract

Cryopreservation using liquid nitrogen is among the most useful and efficient methods for long-term storage of basidiomycetes fungal strains. However, there are still a limited number of reports on its efficiency in terms of the stability of intrinsic habits of the fungal strains. This study aims to understand the effects of frozen storage using liquid nitrogen on mycelial growth as well as the mycorrhization ability of *Tricholoma matsutake* strains. The mycelia of four strains of *T. matsutake* were preincubated on particles of autoclaved vermiculite immersed in nutrient liquid media in cryovials. The cryovials were filled with a cryoprotectant (to a final concentration of 5% DMSO and 10% trehalose) and then frozen to -80°C at a cooling speed of $-1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ using a freezing container or a program freezer. They were then stored in gaseous liquid nitrogen at approximately -180°C in a locator cryogenic storage system for up to 3 years for one strain (Y1, identical to IFO33136) and 2 years for the other three strains. Following frozen storage, the regenerated mycelia were subjected to tests to investigate the hyphal extension rate on culture plates and mycorrhization abilities with red pine seedlings *in vitro*. All strains were viable after frozen storage with high survival rate, and formed ectomycorrhizal roots with the pine seedlings. The results indicate that frozen storage using liquid nitrogen can be an efficient method for the long-term stable preservation of *T. matsutake* and does not compromise both their mycelial growth and ectomycorrhization abilities.

Key words : edible mushroom, preservation, symbiosis, trehalose, vermiculite

Received 16 June 2020, Accepted 8 October 2020

1) Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Principal Research Director, FFPRI

* Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN E-mail : obasek@affrc.go.jp

ノート (Note)

クロトリュフ宿主としてのコナラおよびアカマツ実生の生育に
アルカリおよびカリウム添加が及ぼす影響古澤 仁美^{1)*}、仲野 翔太²⁾、山中 高史³⁾

キーワード：アルカリ、カリウム、苗木、成長、トリュフ

国内に生息するトリュフの1種であるアジアクロセイヨウショウロ (*Tuber himalayense*) の人工栽培に向けてトリュフ菌を定着させた苗木を作製する技術の開発が進められている。アジアクロセイヨウショウロにおける既往の研究で、野外の子実体発生地土壌のpHが6–8であり、実験室における菌糸培養においてもpH6–8で成長が良いという報告がある(古澤ら 2020, Nakano et al. 2020)。また、子実体発生地では隣接する非発生地に比べて、有意差はないものの交換性カリウム(K)濃度が高い傾向がある(古澤ら 2020)。これらのことから、定着苗木作製の際には、弱酸性の土壌には石灰などのアルカリとKを添加することが検討されている。しかし、一般に植物の生育は土壌が弱酸性のときに良好で、強酸性やアルカリ性で不良となると言われている(犬伏・安西 2001)。また、施肥試験は過去に多く行われてきたが、宿主となるアカマツとコナラの実生の成長に対するKの影響に関する研究は多くない。そこで本研究では、培地へのアルカリとK添加が、アカマツ、コナラ実生の生育に影響を及ぼすかどうか検討した。

直径5.5cm、長さ25cmのポット100個に芝の目土(Joyful honda garden center, 粒状1.5–3mm)とパーライトを体積比1:1で混合した培地を乾燥重量にして150gつめた。発芽後7ヶ月経過したコナラおよびアカマツ実生を、48個および44個のポットにそれぞれ1本移植し、残り8個は未植栽とした。移植1ヶ月後(コナラ:2017年9月、アカマツ:同年10月)に、4処理区(無添加区(対照区)、K添加区、アルカリ添加区、アルカリ+K添加区)を設定した。各処理の数は、コナラの実験では植栽12ポット+未植栽1ポット、アカマツの実験では植栽11ポット+未植栽1ポットである。初期肥料として、ユニバー

ゾルブルー(Everris社, N:P:K = 18:11:18)溶液をKで33.5mg/pot相当になるよう各ポットに添加した。さらにK添加区では、既報(古澤ら 2020)の山梨にある生息地の子実体発生地と非発生地の交換性K濃度の差(0.3cmol/kg)を再現することとし、その差分を添加するため塩化カリウム(KCl)溶液(6712mg/L)を5ml/pot添加した(Kで17.6 mg/pot相当)。また、アルカリ添加区では、pHが7.5になるように、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)溶液(18.75g/L)を20ml/pot添加した。処理直後に未植栽の各処理1ポットを掘り取って培地の分析に供した。処理から約3ヶ月育苗後に半数のポットを掘り取った(コナラ n=6、アカマツ n=5)。残ったポットに追加のアルカリとKを初回と同様の方法で添加して育苗を続け、8ヶ月後に掘り取った。なお、育苗中は適宜灌水をしていた。

処理直後、3ヶ月後、8ヶ月後の掘り取り時の培地について、掘り取り直後に湿重で10gに対し蒸留水25mlを加えて1時間振とうし、懸濁液の水抽出K⁺濃度をKイオンメーター(HORIBA B-731K+)で、pHを電極法(TOADKK, HM-25R)で測定した。また、掘り取った実生の地上部および地下部を60℃で24時間乾燥させ、乾燥重量を測定した。R v. 3.5.3(R Core Team, 2019)を用いてbartlett's testで等分散性を確認したのち、アルカリ添加とK添加の影響を二元配置分散分析で検討した。

その結果、コナラを植えた場合、アルカリを添加しない2つの区では培地のpHは8ヶ月後まで5.5–5.7で推移した一方、アルカリを添加した2つの区ではpHは6.4–7.1であった(Table 1)。水抽出K⁺濃度はKを添加した2つの処理区では非添加区より高い傾向が8ヶ月後まで認められた。アカマツを植えた場合、アルカリ非添加の2区でpHが5.1–5.9であり、アルカリを添加した2区ではpH

Effects of addition of an alkali agent and potassium chloride on the growth of oak and pine seedlings as hosts for *Tuber himalayense*
Hitomi FURUSAWA^{1)*}, Shota NAKANO²⁾, Takashi YAMANAKA³⁾

原稿受付：令和2年6月11日 原稿受理：令和2年8月4日

1) 森林総合研究所 立地環境研究領域

2) 元森林総合研究所 きのこと・森林微生物研究領域(現 ホクト株式会社)

3) 森林総合研究所 研究ディレクター

* 森林総合研究所 立地環境研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

Received 11 June 2020, Accepted 4 August 2020

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

2) Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI (Current address: HOKUTO Corporation)

3) Principal Research Director, FFPRI

* Department of Forest Soil, FFPRI 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, JAPAN; E-mail: fu1103@affrc.go.jp

は 6.5–7.6 の範囲であった。水抽出 K^+ 濃度はコナラと同様の傾向があった。本研究では 3 ヶ月後に追加のアルカリと K 添加を行なったことから、アカマツ、コナラとも 8 ヶ月後まで処理の効果が維持されたと考えられた。ただし、8 ヶ月後の水抽出 K^+ 濃度はコナラよりアカマツで高い傾向があった。育苗中は灌水をしているため K^+ が水とともに流亡していくが、何らかの原因でアカマツの方がコナラより培地に K^+ が保持されていたと考えられる。しかし原因は不明であり今後検討する必要がある。また、アルカリ添加した 2 区ではアルカリを添加していない 2 区より水抽出 K^+ 濃度が低い傾向があった。これは土壤溶液中に水酸化カルシウム由来の多量の Ca^{2+} が存在し、陽イオンを吸着する培地土壌の負電荷に Ca^{2+} が多く吸着されたため、 K^+ は吸着されにくくなり灌水中に流亡しやすくなったと考えられた。

コナラの成長は、3 ヶ月後と 8 ヶ月後の地上部重量、地下部重量 (Fig. 1)、全重量について、アルカリ添加、K 添加、アルカリ添加 × K 添加の交互作用のいずれも有意ではなかった。アカマツの成長は、3 ヶ月後の地上部重量および全重について K 添加で有意であり (それぞれ $p=0.035$ 、 $p=0.022$)、K 添加した場合にしない場合より重量が小さくなる傾向が認められた。また、アルカリ添加 × K 添加の交互作用も有意であり (それぞれ $p=0.018$ 、 $p=0.040$)、アルカリ添加した場合は K 添加区と非添加区の重量の差が小さくなった。8 ヶ月後の地上部重量および全重量においても、K 添加で有意な違いが認められ (それぞれ $p=0.02$ 、 $p=0.0303$)、K 添加した場合にしない場合より重量が小さくなる傾向が認められたが (Fig. 2)、交互作用は有意ではなかった。牧坂 (1963) は、アカマツ稚苗において K を添加した区で添加しない区より主軸伸長と乾物重量が小さくなることを報告し、K がアカマツ実生の成長を制御する作用があると示唆している。この

メカニズムは不明であるが、本研究でも、K 添加による成長抑制効果が現れたと考えられる。また、3 ヶ月後の重量にはアルカリ添加と K 添加の交互作用が認められたことから、カルシウム添加が K による成長抑制を緩和する可能性も考えられた。一方、コナラでは K 添加の影響

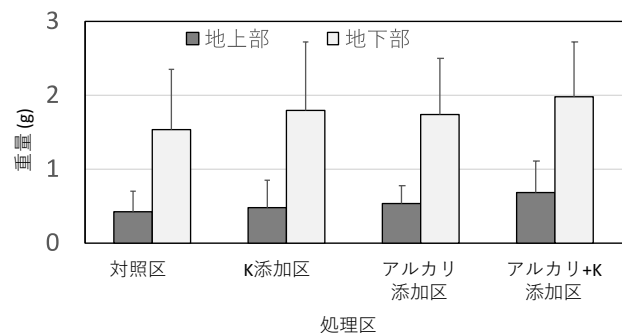


Fig. 1. 処理開始 8 ヶ月後のコナラ実生の現存量
図中のバーは標準偏差を示す。

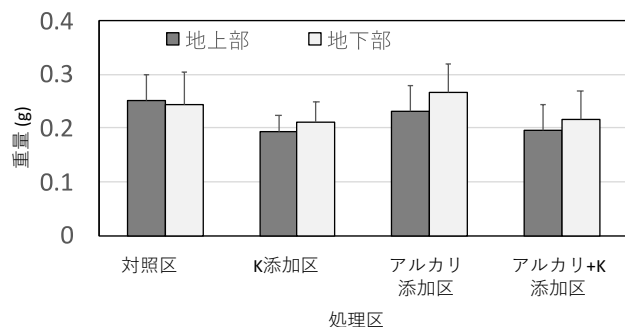


Fig. 2. 処理開始 8 ヶ月後のアカマツ実生の現存量
図中のバーは標準偏差を示す。

Table 1. 処理直後、3 ヶ月後、8 ヶ月後の掘り取り時の培地の pH および水抽出 K^+ 濃度

	pH			K^+ (mg/L)		
	処理直後	3 ヶ月後	8 ヶ月後	処理直後	3 ヶ月後	8 ヶ月後
コナラ						
対照区	5.7	5.5 ± 0.1	5.7 ± 0.1	13	7 ± 0.5	3 ± 0.8
K 添加区	5.6	5.5 ± 0.1	5.5 ± 0.1	24	12 ± 0.8	12 ± 2.8
アルカリ添加区	6.8	6.4 ± 0.3	7.1 ± 0.1	14	4 ± 0.8	2 ± 0.5
アルカリ + K 添加区	6.8	6.4 ± 0.6	7.1 ± 0.1	18	9 ± 1.4	7 ± 0.9
アカマツ						
対照区	5.8	5.7 ± 0.1	5.1 ± 0.1	12	4 ± 0.7	22 ± 2.8
K 添加区	5.9	5.7 ± 0.0	5.1 ± 0.1	16	8 ± 0.5	44 ± 2.7
アルカリ添加区	7.4	6.5 ± 0.1	6.8 ± 0.1	11	4 ± 0.5	12 ± 1.3
アルカリ + K 添加区	7.6	6.7 ± 0.1	6.8 ± 0.1	21	7 ± 0.4	25 ± 1.2

平均値 ± 標準偏差を示す。

は認められず、樹種によって反応が異なる可能性があり、今後も検討する必要がある。

コナラ、アカマツいずれも、実生の成長においてアルカリ添加の影響は有意ではなかったことから、本研究の条件であればトリュフ定着苗木作製のためのアルカリ添加は実生の成長には問題ないと考えられた。

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適に利用するための技術開発」研究課題「高級菌根性きのこ栽培技術開発」により実施した。

引用文献

- (1) 古澤 仁美・山中 高史・木下 晃彦・仲野 翔太・野口 享太郎・小長谷 啓介 (2020) 日本における2種のトリュフ (アジアクロセイヨウショウロ およびホンセイヨウショウロ) の生息地の土壌特性. 森林総研研報, 19, 55-67.
- (2) 犬伏 和之・安西 徹郎 (2001) 土壌学概論. 朝倉書店, 219 pp.
- (3) 牧坂 三郎 (1963) アカマツ稚苗におけるカリの作用について. 日林誌, 45, 207-212.
- (4) Nakano, S., Kinoshita, A., Obase, K., Nakamura, N., Furusawa, H., Noguchi, K., and Yamanaka, T. (2020) Influence of pH on in vitro mycelial growth in three Japanese truffle species: *Tuber japonicum*, *T. himalayense*, and *T. longispinosum*. *Mycoscience*, 61, 58-61.
- (5) R Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

研究資料 (Research record)

スギミニチュア採種園の土壌性状 ー採種園造成・管理における施肥基準策定のための基礎情報ー

小野 賢二^{1)*}、竹田 宣明²⁾、宮本 尚子²⁾

要旨

スギ優良品種の種子生産を目的とした採種園では母樹への負担が大きいため、樹体の成長と生殖を共に補う施肥が重要となり、事業区毎、実情に即した基準が必要である。採種園の施肥管理基準を検討するため、東北育種場スギミニチュア採種園で土壌調査し、その理化学特性を把握した。土壌は火山灰を母材とする褐色森林土であった。既存の樹園地の土壌適正值等と比べた結果、当該土壌は腐植に富む一方で、窒素やリン酸、塩基飽和度が総じて乏しかった。反面、国内スギ造林地土壌と比べると、同レベルで、典型的な褐色森林土の特徴を示した。今後は本結果を参考に、着果状況、収率、管理コスト等を勘案し、必要かつ適切な採種園の施肥管理法の検討に活用していく。

キーワード：ミニチュア採種園、スギ、土壌化学性、土壌物理性、施肥管理

1. はじめに

遺伝的に優良な種子生産を多量に行うことを目的に設定された採種園では、種子の稔性、充実性、生産性や、母樹自身の樹勢等は古来大きな関心事である。この達成には、ジベレリン処理による直接的な着花促進、種子生産性の向上(伊藤 1993)ばかりでなく、母樹の増殖、養苗、植栽配置や、採種園造成、剪定、樹型誘導、施肥、除草、中耕等、採種園管理に関連する諸工程の適切な実施が必要である(林木育種推進東北地区協議会 2011)。

スギの種苗育種、種子生産に関して、1955 年以降、成長が良く、通直性や材強度等の品質が良好で、花粉が少なく、雪害や乾風害等の気象害に強く、スギカミキリの食害抵抗性を有する等、地域やニーズに対応した多様な特性を持つ品種が選抜、開発されてきた(林木育種推進東北地区協議会 2011, 林野庁 2019)。さらに昨今は、森林施業の低コスト化と生産性の向上が強く求められる状況にあり(林木育種推進東北地区協議会 2011)、それは種子・種苗生産事業も同様である。そのため、1980 年代から新潟県によってスギミニチュア採種園の造成に関する研究に取り組み、その成果を元に東北育種基本区の各県で事業規模でのミニチュア採種園が造成されるようになった(欠畑 2007)。採種園の母樹をミニサイズとすることで、優良個体である母樹の育成期間短縮化や造成面積の小規模化、着果促進のためのジベレリン散布や母樹の整枝剪定、除草、施肥等の圃場管理の省力化や低コスト化、管理作業の安全性の確保、種子生産性の向上と安定化等さ

まざまな利点があるとされる(織田 2001)。その一方で、植栽から間もない若齢時から着果させて種子生産を行うことに加え、断幹したミニサイズの母樹から多量の球果を採種したり、高頻度の整枝剪定を行ったりして、樹体から養分を収奪、損失し、母樹の樹勢を弱めるので、その栄養成長と生殖成長を補填するための施肥が重要であり、適切な施肥管理が必要とされる(林木育種推進東北地区協議会 2011)。

施肥量は、基本的には「採種園の施業要領」(林野庁 1964)に示されている施肥基準量に準じて設定されてきた。実際には個々の採種園によって土壌条件が異なるため、それぞれの事業機関ごとに元肥量と追肥量が設定されているのが現状である(林木育種推進東北地区協議会 2011)。つまり、東北育種基本区内の各県では、ミニチュア採種園の造成、管理において、スギミニチュア採種園技術マニュアル(林木育種推進東北地区協議会 2011)を参考とし、個々の現地の状況等を勘案して設定した施肥量によって施肥管理を実施しているところである。一方で、採種事業に関し、より効果的な施肥管理を行うため、その根拠となる施肥設計や施肥量等、具体的な基準の設定を強く要望する意見も出ている。こうした状況はスギミニチュア採種園のみならず、他樹種の採種園についても同様の状況である(蓬田 2020)。今後の採種園における施肥管理方法や基準を具体化するため、採種園造成地における土壌の一般理化学性を把握して、それがどのような土壌条件にあるのかを考察し、施肥量を検討していく

原稿受付：令和 2 年 4 月 23 日 原稿受理：令和 2 年 7 月 6 日

1) 森林総合研究所 東北支所

2) 森林総合研究所 林木育種センター東北育種場

* 森林総合研究所 東北支所 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

必要がある。このような背景の下、森林総合研究所林木育種センター東北育種場スギミニチュア採種園において土壌調査を行い、土壌性状の観察と土壌の一般理化学的分析を実施したので、本論ではその結果を資料として報告する。

2. 試験地と調査方法

2.1. 調査地の概要

岩手県滝沢市大崎にある森林総合研究所林木育種センター東北育種場内のスギミニチュア採種園（区画 222、223、225）を調査対象とした。当該調査地の標高は 236 m、傾斜および斜面方位はそれぞれ $1 \sim 6^\circ$ および $330 \sim 350^\circ$ N の範囲にあった。気候条件は、当該調査地の西約 1.5 km に位置する岩手県農業研究センター畜産研究所の気象条件（岩手県農業研究センター 2002）を参照すると、年平均気温は 9.2°C 、年降水量は 1398.3 mm 年^{-1} 、平均日照時間は 1952.7 時間 年^{-1} であった。ここでは 2008 年から 3 カ年に分けてスギ優良個体の母樹を植栽し、採種園 222、223、225 が造成された。植栽品種は、東北育種基本区東部育種区の推奨品種、寒害および凍害抵抗性品種、少花粉品種のスギ優良品種の個体であった。それぞれの区画では、採種園造成当年、すなわち母樹植栽当年の 4 月下旬に、元肥として、窒素、リン、カリウムを、母樹 1 本に対して、堆肥（緩効性肥料）の形で、それぞれ 64.4、20.7、78.2 g 本^{-1} 、苦土有機入り化成肥料（N:P:K=10:10:10）を速効性肥料として、それぞれ 8.0、8.0、8.0 g 本^{-1} 施用した。また、採種園造成翌年から毎年 4 月下旬には、追肥として、窒素、リン、カリウムを、母樹 1 本に対して、丸山固形肥料（N:P:K=12:8:6）を緩効性肥料として、それぞれ 9.6、6.4、4.8 g 本^{-1} 、緩効性肥料としてそれぞれ 24.0、18.0、12.0 g 本^{-1} 施用した。採種園の造成やその後の断幹、整枝剪定、施肥管理は「東北育種基本区ミニチュア採種園技術マニュアル 2011」（林木育種推進協議会 2011）に準じて行われているので、それらに関する詳細は、同マニュアルを参照されたい。また、対照地の土壌として、採種園に隣り合う形で配置されているスギ植栽試験地（区画 132）も調査対象とした。対照地に関しては施肥の履歴はない土壌と考えられる。当該調査地の母材は岩手火山岩屑なだれ堆積物（土井 1991、岩手県滝沢村教育委員会 1997）で、土壌は適潤性褐色森林土 BD（土壌部 1976）であった。調査地の概況は Appendices 1、2 に記載した。

2.2. 土壌調査

各調査地において、それぞれ 1 か所ずつ土壌調査坑を作成し、土壌調査を行った。当該調査は採種園の 3 区画では 2018 年 7 月 25、26 日の両日に、対照地では 2018 年 10 月 19 日に実施した。また、土壌調査は国有林野土壌調査方法書（林野庁林業試験場 1955）に従って実施し、土壌断面の記載は Guidelines for soil description（FAO

2006）に準じて表記した。土色は、標準土色帖（農林水産省農林水産技術会議事務局 2010）に、土性と土壌の湿潤状態は土壌調査ハンドブック（日本ペドロロジー学会 1997）、堅密度の表現は真下（1973）に従った。調査坑は、各調査地の複数箇所ですり込みを行い、土壌断面の代表性を確認した上で選定した。土壌断面記載の後に、施肥管理を検討するためのバックグラウンドデータを得ることを目的に、土壌の一般化学性を把握するための分析試料を、それぞれの土壌断面の各層位から採取した。採取した化学性分析用試料は風乾後 2 mm メッシュの円孔篩を用いて篩別、調製し、分析に供した。

土壌の理化学分析用試料は、採種園の土壌を代表させて区画 222 と対照の区画 132 の土壌断面から、芝本式土壌採取用円筒（400 ml：大起理化学工業株式会社 DIK-1506）にて不攪乱土壌コアを層位ごとに 1 個採取した。土壌断面の最下層の 2B 層の土壌については、いずれの断面も土壌深が 1 m 超となり、400 ml 不攪乱土壌コアを採取する作業スペースの確保が困難となったことから、採土補助器（100 ml 用：同 DIK-1630）を用いてステンレス試料円筒（100 ml：同 DIK-1801）にて不攪乱コアを採取し、分析に供した。

2.3. 土壌分析

土壌の化学性分析は、株式会社川田研究所（茨城県つくば市）に委託し、以下の項目を分析した：電気伝導度（Electrical Conductivity, 以下、「EC」という）（白金電極法）、土壌 pH（ H_2O ）（ガラス電極法）、土壌 pH（KCl）（ガラス電極法）、陽イオン交換容量（Cation Exchangeable Capacity, 以下、「CEC」という）（セミマイクロ Schollenberger 変法）、交換性陽イオン含量（原子吸光法または炎光法）、各塩基飽和度（CEC および各陽イオン当量値から換算）、全塩基飽和度（各塩基飽和度の総和）、可給態リン酸量（トルオーグ法）、リン酸吸収係数（リン酸アンモニウム液法）、アンモニウム態窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）含量（塩化カリウム液浸出－蒸留法）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）含量（ジアゾ還元法）、腐植（熊田法）、水溶性陽イオン量（原子吸光法または炎光法）、交換酸度（Y1）。Y1 を除く土壌分析項目は「土壌環境分析法」（土壌環境分析法編集委員会 1997）に、Y1 のみ「土壌養分分析法（土壌養分測定法委員会 1994）」に準じて、分析を行った。以上の項目のほか、土壌炭素・窒素濃度を乾式燃焼法（株式会社住化分析センター；Sumigraph NC-22F）により自前で分析した。

土壌の理化学分析について、400 ml の円筒で採取した不攪乱土壌コア試料は、河田・小島（1976）に準じて、一般理化学分析、透水性試験に供した。測定項目は以下の通り：透水性、容積重、孔隙量、三相組成、最大含水量、最小容気量、採種時含水量。100 ml の採土円筒で採取した不攪乱土壌コアは、容積重、孔隙量、三相組成、採取時含水量のみ測定した。

なお、本研究における土壌の理化学特性の分析値について、その適正性を比較するため、岩手県（2009）および分析委託元の川田研究所が提示している果樹における土壌適正值、および農林水産省（2008）が提示している樹園地の褐色森林土における土壌改善目標値を参考にした。川田研究所の土壌適正值は、川田研究所が持つ既存データ等を検討して果樹に関する全国的な平均値を示したものであるとのことであった。また、一般的な褐色森林土やスギ土壌との比較を行うため、河田（1989）や高橋ら（2013）、荻住（2015）の既往データの平均値も参考にした。

3. 結果と考察

3.1. 土壌断面の性状

採種園3区画と、隣接する圃場のスギ植栽試験地において実施した土壌断面観察による断面記載を Appendices 1, 2 に示した。当該調査地付近の母材は、岩手火山由来の大石渡岩層なだれ堆積物であるとされる（土井 1991, 岩手県滝沢村教育委員会 1997）。そのため、いずれの土壌断面においても、A 層を中心に土壌は腐植に富み、30 cm 超の層厚を示す A 層が確認された【断面 1～4】。調査区画間で、断面ごとの A 層の厚さが違ったり、土層の次層位との境界面が不規則に乱れたりしたのは、採種園、あるいは圃場造成時の耕耘や切盛土等の攪乱痕跡に起因したものと推察された。全ての土壌断面において 70～80 cm 以深に埋没土層（2A 層および 2B 層）が確認された。A 層の土色は黒～黒褐色を呈し、明度は 2、彩度は 1～3 を示した。一方、B 層の土色は黒味がかったはいるものの、A 層に比べて淡く、褐色を呈した。土性は、全般として壤土であるが、部分的に砂質、または埴質を示す土層がみられた。特に最下層の 2B 層は粘土の混じりが多くなり埴土または砂質埴土であることが確認された。土壌構造に関し、採種園の土壌断面【断面 1, 2, 3】では、上層の A 層で弱い垂角塊状構造がみられた一方で、対照地【断面 4】では弱い粒状構造が確認された。採種園造成時の耕耘作業やその後の圃場管理の違いを反映しているのかもしれない。表層部の A1 層、または A1～A2 層、さらには A1～A3 層以深の層位では、いずれの断面においても土壌構造の発達は見られず、壁状構造を呈した。堅密度はところどころに「すこぶる堅」を示す土層（【断面 2】の 2A 層、【断面 3】の B1 層と B3 層、【断面 4】の A1 層）や「固結」を示す土層（【断面 4】の BC 層）が確認されたが、断面全体としては総じて「堅」または「軟」を呈した。孔隙の種類としては、小泡孔隙または隙間孔隙、導管等が確認され、孔隙率は 2 または 3 であった。当該調査地は、土壌母材が岩手山由来の火山灰の影響を受け、腐植に富んだ A 層が厚く堆積していることが確認されたが、土色がいくぶん淡く（明度 2、彩度 1～3）、A 層から B 層への推移が総じて漸变的であったことから、林野土壌の分類 1975（土じょう部 1976）に基づく土壌分類と

しては、いずれの土壌断面も「適潤性褐色森林土」とした。採種園と対照地の圃場の間での土壌断面の性状に差はないことが確認された。

3.2. 土壌の一般化学性

土壌の一般化学性の分析結果を Table 1 に示した。採種園および対照地の圃場における土壌において、EC は 0.1 mS/cm 以下を示し、総じて低く、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 5.9～6.3、 $\text{pH}(\text{KCl})$ は 5.0～5.5 で、弱酸性から中性域にあった。河田（1989）や高橋ら（2013）の適潤性褐色森林土および荻住（2015）のスギ林土壌における土壌酸度（ $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ や $\text{pH}(\text{KCl})$ ）の平均値と比べると、これらの値はいくぶん高い傾向にあったが、岩手県や農林水産省、川田研究所が示している土壌の適正值や改善目標値と比べると、概ね、その範囲にあった。EC は適正值や目標値と比べると、著しく低かった。CEC は 13～34 cmol_c/kg を示し、河田（1989）が示した、褐色森林土亜群の「極めておおまかな目安」である 20～40 cmol_c/kg の範囲にあった。これは、前述の土壌適正值や改善目標値と比べると高めの傾向を示した。交換性塩基類の含有量は、交換性 Ca^{2+} で 3～10 cmol_c/kg、交換性 Mg^{2+} で 0.3～1.5 cmol_c/kg、交換性 K^+ で 0.1～0.8 cmol_c/kg、交換性 Na^+ で 0.1 cmol_c/kg 以下であった。概ね、高橋ら（2013）の示す範囲にあることが確認できた。全塩基飽和度は 30% 前後の値を示しており、交換性 Ca^{2+} の含有量が他の陽イオンに比べ高かったため、 Ca^{2+} 飽和度がその大半の割合を占めていた。各塩基飽和度および全塩基飽和度に関し、既存の土壌適正值を参考に比較してみると、農林水産省の指針および川田研究所の値と比べ、下限値に近い、あるいはそれらを下回る値であった。これは、既存の指針値における CEC の基準値に比べ、採種園および圃場の土壌の CEC が高い傾向にあり、全体として塩基飽和度の値を押し下げたことに起因していると考えられた。可給態リン酸と $\text{NO}_3\text{-N}$ に関しては、分析した土壌試料のほとんどが検出限界以下（それぞれ、1 mg/100g 未満、0.1 mg/100g 未満）を示し、非常に低く、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ についても 0.5～2.0 mg/100g の範囲を示し、既存の土壌適正值や改善目標値と比較しても、大幅に低い値を示した。一方で、母材である火山灰の影響が強い土壌であるため、リン酸吸収係数は全般的に高い値を示した。また、腐植含量および土壌炭素濃度については、表層部の A 層および埋没 A 層を中心に、高い値を示しており、このことから火山灰由来の母材の影響を強く受けた土壌であることが示唆された。窒素濃度は、0.1～0.7% の範囲にあり、既存の適潤性褐色森林土やスギ林土壌における平均値と同様のレベルにあることが確認された。そのため、C/N のレベルも同様であった。また、交換酸度 Y1 は総じて低い値を示し、植物根系の生育障害が問題とされる値にはないことが確認された。以上から、本研究における対照地と採種園の土壌の化学的環境に関しては両者間で大きな差異はない

Table 1. 東北育種場スギミニチュア採種園およびスギ植栽試験地（対照地）における土壌の一般化学性
Summary of the chemical characteristics of soils in the seed orchards and the experimental site of Japanese cedar
(*Cryptomeria japonica*) trees at Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI

	EC	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	CEC	Ex.Ca ²⁺	Ex.Mg ²⁺	Ex.K ⁺	Ex.Na ⁺	Ca ²⁺ 飽和度	Mg ²⁺ 飽和度	K ⁺ 飽和度	Na ⁺ 飽和度	全塩基飽和度
	(mS/cm)			(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
果樹の土壌適正値 ¹	0.1	5.0～6.0							22～48	6.2～10	1.8～2		30～60
樹園地の改善目標値 ²		5.5～6.5		(8～)12									50～80
果樹の土壌適正値 ³	0.1～0.3	5.5～6.5		15～25					40～50	10～15	2～5		50～70
スギミニチュア採種園【222区画】													
層位													
A1	0.04	5.90	5.00	26.0	6.06	0.57	0.33	0.04	23.0	3.0	0.8	0.2	27.0
A2	0.04	6.20	5.40	20.0	4.64	0.34	0.50	0.03	23.0	2.3	1.5	0.2	27.0
A3	0.04	6.10	5.50	22.0	5.35	0.43	0.53	0.02	24.0	2.7	1.4	0.1	28.2
A4	0.03	6.20	5.40	24.0	5.71	0.61	0.27	0.04	24.0	3.5	0.7	0.2	28.4
B	0.03	6.20	5.40	21.0	4.64	0.61	0.20	0.05	23.0	4.1	0.6	0.2	27.9
2A	0.03	6.20	5.30	24.0	4.99	0.86	0.26	0.04	20.0	4.8	0.6	0.2	25.6
2B	0.03	6.10	5.30	21.0	4.99	0.71	0.24	0.07	24.0	4.9	0.7	0.3	29.9
スギミニチュア採種園【223区画】													
層位													
A1	0.04	5.90	5.00	25.0	5.35	0.50	0.57	0.05	22.0	2.8	1.4	0.2	26.4
A2	0.04	6.10	5.50	21.0	4.64	0.39	0.29	0.04	22.0	2.5	0.8	0.2	25.5
A3	0.04	6.20	5.50	23.0	6.06	0.53	0.53	0.04	27.0	3.3	1.5	0.2	32.0
B	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*
2A1	0.03	6.30	5.40	15.0	3.57	0.53	0.36	0.04	24.0	4.8	1.4	0.3	30.5
2A2	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*
2B	0.05	6.10	5.50	22.0	3.92	0.57	0.46	0.08	19.0	3.7	1.2	0.4	24.3
スギミニチュア採種園【225区画】													
層位													
A1	0.05	6.00	5.00	31.0	8.20	1.49	0.34	0.05	26.0	4.8	1.1	0.2	32.1
A2	0.05	6.00	5.10	31.0	9.27	1.44	0.28	0.05	30.0	4.7	0.9	0.2	35.8
B1	0.05	6.10	5.40	22.0	3.92	0.79	0.28	0.04	19.0	3.7	1.2	0.2	24.1
B2	0.05	6.10	5.40	28.0	6.06	0.99	0.51	0.03	22.0	3.5	1.9	0.1	27.5
B3	0.04	6.20	5.30	14.0	2.57	0.48	0.40	0.04	18.0	3.4	2.8	0.3	24.5
2A	0.05	6.20	5.40	26.0	6.42	1.04	0.81	0.04	25.0	4.0	3.1	0.2	32.3
2B	0.03	6.20	5.50	21.0	4.99	0.69	0.08	0.08	24.0	3.4	0.4	0.4	28.2
東北育種場圃場【132区画】													
層位													
A1	0.04	6.00	5.10	29.0	6.78	0.65	0.14	0.08	23.0	2.2	0.5	0.3	26.0
A2	0.05	6.10	5.40	25.0	6.78	0.37	0.07	0.07	28.0	1.5	0.3	0.3	30.1
(BA)	0.04	6.30	5.40	20.0	4.64	0.33	0.06	0.05	23.0	1.6	0.2	0.3	25.1
B	0.04	6.30	5.30	20.0	5.71	0.45	0.09	0.06	28.0	2.2	0.4	0.3	30.9
BC	0.03	6.30	5.30	13.0	3.21	0.26	0.06	0.06	25.0	2.1	0.4	0.4	27.9
2A	0.04	6.30	5.40	31.0	9.99	0.89	0.11	0.09	32.0	2.9	0.4	0.3	35.6
2BA	0.04	6.30	5.30	34.0	9.99	1.04	0.09	0.09	29.0	3.0	0.3	0.3	32.6
2B	0.04	6.30	5.40	20.0	5.35	0.99	0.10	0.07	27.0	4.8	0.5	0.3	32.6
BDの平均値													
		5.09	4.11		7.43	2.03	0.49						
スギ林表層土壌の平均値													
		5.80	4.78										
スギ林土壌(全層)の平均値													
		5.81	4.89										
BD表層土の平均値													
		5.35							32.1	6.3			

*not determined (未計測)。

¹果樹(りんご、ぶどう、なし、もも、おうとう、ブルーベリー、その他果樹)における土壌適正値(岩手県農作物施肥管理基準 2009)

²地力増進基本指針(農林水産省 2008)による樹園地における褐色森林土の基本的な改善目標値

³果樹における土壌適正値(株式会社川田研究所)

⁴高橋ら(2013)による適潤性褐色森林土における平均値(n=644)

⁵苅住(2015)によるスギ林の表層土壌における平均値(n=52)

⁶苅住(2015)によるスギ林土壌(全層含む)における平均値(n=199)

⁷河田(1989)による適潤性褐色森林土の表層土の平均値(n=154)

Table 1. 続き
continued.

	可給態 リン酸	リン酸 吸収係数	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	腐植	水溶性Ca ²⁺	水溶性Mg ²⁺	水溶性K ⁺	水溶性 Na ⁺	Y1	N	C	C/N	
	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(wt %)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)		(wt %)	(wt %)		
果樹の土壌適正値 ¹	10													
樹園地の改善目標値 ²	10～30													
果樹の土壌適正値 ³	20～50													
スギミニチュア採種園【222 区画】														
層位														
A1	1未満	2120	1.6	0.7	8.0	2.2	0.5	1.5	0.6	1未満	0.55	6.85	12.6	
A2	1未満	2140	1.6	0.2	4.9	1.5	0.2	2.3	0.3	1未満	0.28	3.64	12.8	
A3	1未満	2130	1.2	0.1 未満	4.4	1.9	0.3	2.0	0.5	1未満	0.27	3.46	13.0	
A4	1未満	2150	1.2	0.1 未満	3.6	2.4	0.4	0.4	0.5	1未満	0.20	2.70	13.2	
B	1未満	2010	0.9	0.1 未満	2.8	1.9	0.4	0.3	0.4	1未満	0.15	1.88	12.7	
2A	1未満	2090	1.6	0.1 未満	4.9	1.7	0.5	0.6	0.5	1未満	0.21	2.98	14.0	
2B	1未満	2070	0.7	0.1 未満	2.1	1.5	0.3	0.3	0.7	1未満	0.11	1.29	11.4	
スギミニチュア採種園【223 区画】														
層位														
A1	1未満	2070	1.7	0.5	8.4	1.6	0.3	3	0.8	1未満	0.55	7.00	12.8	
A2	1未満	2140	1.3	0.1 未満	4.7	2.1	0.3	1.1	0.4	1未満	0.28	3.48	12.6	
A3	1未満	2160	1.5	0.1 未満	3.9	2.5	0.3	1.7	0.4	1未満	0.27	3.38	12.7	
B	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	0.11	1.26	11.3	
2A1	1未満	1510	0.5	0.1 未満	2.8	1.4	0.4	1.3	0.5	1未満	0.10	1.42	13.8	
2A2	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	2.73	12.5	
2B	1未満	2180	1.3	0.1 未満	4.5	2.2	0.4	0.1	0.8	1未満	0.12	1.33	11.4	
スギミニチュア採種園【225 区画】														
層位														
A1	3.9	1860	1.7	0.5	9.7	2.4	0.7	2.7	0.5	1未満	0.66	8.27	12.6	
A2	2.1	1870	1.6	0.3	9.3	3.0	0.8	2.1	0.5	1未満	0.63	8.16	13.0	
B1	1未満	2180	1.3	0.1 未満	4.5	2.8	0.7	2.2	0.3	1未満	0.23	3.13	13.7	
B2	1未満	2260	1.3	0.4	4.9	2.6	0.5	3.1	0.3	1未満	0.30	4.01	13.5	
B3	1未満	1490	0.9	0.1 未満	1.9	0.9	0.2	3.2	0.3	1未満	0.07	0.90	12.6	
2A	1未満	2170	1.1	0.1 未満	5.2	1.2	0.3	5.3	0.5	1未満	0.26	3.56	13.9	
2B	1未満	2000	1.6	0.1 未満	1.8	1.9	0.3	0.3	0.7	1未満	0.10	1.17	11.2	
東北育種場圃場【132 区画】														
層位														
A1	1未満	1980	2.0	0.3	8.0	2.7	0.4	0.8	0.7	1未満	0.41	5.82	14.1	
A2	1未満	2170	1.7	0.2	4.0	3.9	0.3	0.3	0.6	1未満	0.23	3.10	13.5	
(BA)	1未満	2030	1.1	0.2	4.1	3.0	0.3	0.1	0.4	1未満	0.29	4.64	16.2	
B	1.1	1940	0.8	0.1 未満	2.3	2.8	0.2	0.3	0.5	1未満	0.21	2.89	13.9	
BC	1未満	1440	0.8	0.1 未満	1.7	1.6	0.2	0.2	0.4	1未満	0.13	1.58	12.1	
2A	1未満	2180	1.0	0.1 未満	7.1	3.1	0.3	0.4	0.6	1未満	0.07	0.87	12.9	
2BA	1未満	2210	1.3	0.1 未満	7.3	3.2	0.4	0.2	0.5	1未満	0.28	4.39	15.5	
2B	1未満	2010	0.8	0.1 未満	1.8	2.4	0.4	0.2	0.5	1未満	0.11	1.16	11.0	
Bdの平均値											11.3	0.58	8.96	15.6
スギ林表層土壌の平均値											4.3	0.61	8.09	13.7
スギ林土壌(全層)の平均値											6.3	0.34	4.55	17.1
Bd表層土の平均値											10.0			15.8

*not determined (未計測).

¹果樹(りんご、ぶどう、なし、もも、おうとう、ブルーベリー、その他果樹)における土壌適正値(岩手県農作物施肥管理基準 2009)²地力増進基本指針(農林水産省 2008)による樹園地における褐色森林土の基本的な改善目標値³果樹における土壌適正値(株式会社川田研究所)⁴高橋ら(2013)による適潤性褐色森林土における平均値(n=644)⁵荻住(2015)によるスギ林の表層土壌における平均値(n=52)⁶荻住(2015)によるスギ林土壌(全層含む)における平均値(n=199)⁷河田(1989)による適潤性褐色森林土の表層土の平均値(n=154)

ことが示唆された。

3.3. 土壌の一般理学的性

土壌の一般理学的性の分析結果を Table 2 に示した。採種園および対照地の圃場における土壌において、容積重は、全層で 0.85 Mg/m^3 以下を示し、非常に小さく、母材が火山灰に由来した土壌であることに起因したものである。そのため、全孔隙量は $69 \sim 80 \text{ vol\%}$ を示し、細・粗孔隙ともにバランス良く構成されていることが確認された。これらは、土壌の透水性、通気性、保水性の維持に寄与すると考えられる。このことを支持するように、採種園および圃場の土壌における飽和透水係数は 60 mm/h 以上であり、透水性が問題とされるレベルにはないことが確認された。以上から、本研究における対照地と採種園の土壌の物理的環境に関しても両者間で大きな差異はないことが示された。また、荻住 (2015) のスギ林における表層土壌、および全層土壌の各値と比較すると、飽和透水係数を除き、概ね、スギ林の全国平均値に相当していることが分かった。

4. まとめ

東北育種場スギミニチュア採種園の調査から、当該土壌は、火山灰由来の母材による影響から、腐植に富むが、果樹の土壌適正値や樹園地における褐色森林土の改善目

標値と比較すると、無機態窒素や可給態リン酸、CEC に対する塩基類は総じて乏しい状態であることが確認できた。一方で、当該採種園の土壌を一般的なスギ林の土壌の化学特性値と比較した場合、特段の差異はなく、典型的な褐色森林土の特徴を呈することも分かった。土壌 pH に関して、土壌の酸性度はさほど強くなく、既存の土壌適正値や改善目標値の範囲にあった。土壌の物理性に関しては、一般的なスギ林土壌の特性とほぼ同じレベルにあり、透水性、通気性、保水性の面で問題となる点は認められなかった。

ミニチュア採種園は、従来の採種園と比べ、母樹をミニサイズに仕立てるため断幹や強度の整枝剪定を行っている上に、植栽後、短期間で着果処理を行い、少作業でかつ効率的に種子生産を行うことを目的として造成されているため、母樹の栄養成長と生殖栄養には、通常の造林地と比べても多量の養分を要するものと考えられる。現状、東北育種基本区におけるミニチュア採種園の施肥管理は、「採種園の施肥要領」(林野庁 1964) に準じて行われているものの、本研究における調査結果では、対照地圃場の土壌や、日本全国の適潤性褐色森林土、あるいはスギ林土壌における既往報告の平均値と比べても、採種園土壌の化学特性に、施肥管理による差異が認められなかった。このことは、以下の2つの可能性を示している。一つは、施肥量が不足しており、あるいは施肥分が根圏

Table 2. 東北育種場スギミニチュア採種園およびスギ植栽試験地 (対照地) における土壌の一般理学的特性
Summary of the physical characteristics of soils in the seed orchards and the experimental site of Japanese cedar
(*Cryptomeria japonica*) trees at Tohoku Reasional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI.

層位	透水性 [*]			飽和透水係数 (mm/h)	容積重 (Mg/m ³)	孔隙量 ^{**}			三相組成			最大容水量 (vol%)	最小容気量 (vol%)	採取時含水量 (wt%) (vol%)	
	5分後 (ml/min)	15分後 (ml/min)	平均 (ml/min)			全孔隙 (vol%)	細孔隙 (vol%)	粗孔隙 (vol%)	固相 (vol%)	液相 (vol%)	気相 (vol%)				
スギミニチュア採種園【222区画】															
A1	48.8	46.8	47.8	229.4	0.69	74.3	43.5	30.7	25.7	42.7	31.6	74.8	-0.5	64.1	42.7
A2	123.2	111.5	117.4	563.3	0.66	75.6	43.1	32.5	24.4	45.6	30.0	71.5	4.1	70.5	45.6
A3	31.5	29.9	30.7	147.4	0.64	76.5	44.4	32.0	23.5	48.1	28.3	72.1	4.4	77.1	48.1
A4	75.9	74.0	75.0	359.8	0.59	78.0	48.1	30.0	22.0	53.6	24.4	75.7	2.3	93.1	53.6
B	103.6	97.9	100.8	483.6	0.60	77.7	45.8	31.9	22.3	51.5	26.2	70.3	7.4	87.0	51.5
2A	20.6	20.7	20.7	99.1	0.63	76.8	49.9	26.9	23.2	58.9	17.8	74.7	2.0	96.6	58.9
2B ^{***}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	0.59	78.2	42.3	35.9	21.8	53.7	24.5	68.4	9.8	94.9	53.7
東北育種場圃場【132区画】															
A1	49.4	49.4	49.4	237.1	0.74	72.3	46.5	25.8	27.7	48.4	23.9	70.0	2.3	68.3	48.3
A2	23.0	22.7	22.9	109.7	0.72	73.4	39.8	33.6	26.6	42.5	30.9	66.5	6.9	60.9	42.5
(BA)	30.5	28.6	29.6	141.8	0.64	76.3	43.7	32.7	23.7	47.4	29.0	70.1	6.2	76.0	47.4
B	14.2	13.7	14.0	67.0	0.59	78.1	47.0	31.1	21.9	53.1	25.0	72.9	5.2	92.1	53.1
BC	60.3	57.5	58.9	282.7	0.85	68.7	39.8	28.9	31.3	42.8	25.9	61.5	7.2	51.5	42.8
2A	28.0	27.2	27.6	132.5	0.54	79.9	44.6	35.2	20.1	52.4	27.5	70.5	9.3	98.4	52.4
2BA	17.1	18.8	18.0	86.2	0.53	80.3	43.2	37.1	19.7	56.3	24.0	71.5	8.8	109.6	56.3
2B ^{***}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	n.d. ^{****}	0.67	75.3	44.7	30.6	24.7	53.4	21.9	65.1	10.1	81.6	53.4
スギ林表層土壌の平均値															
			246.5	1183.4		73.5	52.4	21.1	26.5	47.2	26.3		10.5		47.2
スギ林土壌(全層)の平均値															
			149.8	719.2	0.56				27.0	51.4	21.5		8.6		51.4

*透水性のデータは、透水試験開始5分後と15分後の透水量およびその平均値で示した。

**本tableにおける全孔隙量(全孔隙、細孔隙、粗孔隙)の数値は、素焼き板法による測定値を示した。

***両土壌断面における2B層は、100 ml 円筒を採取し、容積重、孔隙量、三相組成、採取時含水量のみ測定した。

****not determined (未計測)。

¹荻住(2015)によるスギ林の表層土壌における平均値(n=52)

²荻住(2015)によるスギ林土壌(全層含む)における平均値(n=199)

域の外へ流亡し、母樹に対する十分な施肥の効果が現れていない可能性、もう一つの可能性は、母樹に対する現行の施肥管理法は適正であり、施肥した分だけ養分を母樹が吸収し、栄養・生殖成長に利用したため、土壌中に余剰な養分が認められない状態であったことである。後者の場合、最終的には土壌中に余剰養分が残らないことから、それらの溶脱による地下水汚染の懸念も少なく（環境負荷が小さく）、効率的な施肥管理となっているとも解釈できる。以上の二つの状態のどちらであるのか、さらには現状の施肥管理が適正であるか否かは、母樹の生育状態、その着果状況、種子生産の収率、管理コスト等のデータと比較しなければ判断し得ないため、今後、更なる詳細な検討が必要となる。

本研究は、採種園の造成、管理上、必要とされる施肥管理方法（施肥の量やタイミングなど）を検討するための基礎情報として、東北育種場スギミニチュア採種園における土壌理化学特性を報告した。従来から、母樹の生育や種子生産に密接に関わる施肥管理は採種園管理の重要な工程として位置付けられてきたが、種子生産を規定する着果や種子の充実には様々な自然要因も交錯して影響していることから、着果や種子生産に対して、母樹への施肥がどれだけ影響し、効果を及ぼしているのか、未だ十分には明らかにされていない。今後は、本研究で得た採種園の土壌特性データと、母樹の生育状況や樹木サイズ、着果量、種子の収率、充実性などとの関係性を検討し、個々の採種園の管理ステージにおける施肥が持つ意味合い、役割を明らかにしつつ、施肥管理方法や施肥基準の策定を進めていくことが有効であると考えられる。

引用文献

- 伊藤 信治（1993）スギのミニチュア採種園における種子生産．林木の育種，141, 1-3.
- 土じょう部（1976）林野土壌の分類 1975. 林業試験場研究報告，280, 1-28.
- 土壌環境分析法編成委員会（1997）土壌環境分析法．博友社，427pp.
- 土壌養分測定法委員会（1994）土壌養分分析法．養賢堂，440pp.
- 土井 宣夫（1991）岩手火山山麓の岩屑なだれ堆積物群．火山，36, 483-484
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)（2006）Guidelines for Soil Description. Fourth Edition. Rome, 97 pp.
- 岩手県（2009）“岩手県農作物施肥管理指針（平成 29 年 6 月 1 部改訂）”，岩手県，<https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyounougyou/nougyougijutsu/nouyaku1007706.html>, (2020.4.13 参照).
- 岩手県滝沢村教育委員会（1997）岩手山の地質—火山灰が語る噴火史—．岩手県滝沢村教育委員会，234pp.
- 岩手県農業研究センター（2002）“岩手県農業研究センター主要農作物栽培基準” 農業研究センター畜産研究所立地条件 <http://www2.pref.iwate.jp/~hp2088/library/saibai/saibai4001.pdf> (2020.6.12 参照).
- 欠畑 信（2007）東北育種基本区のミニチュア採種園造成の取り組み．東北の林木育種，185, 13.
- 荻住 昇（2015）森林の根系特性と構造．バイオマス算定に向けた基礎解析．鹿島出版会，446pp.
- 河田 弘（1989）森林土壌学概論．博友社，399pp.
- 真下 久育（1973）硬度計による森林土壌の堅密度の区分および粗孔隙量の予知．森林立地，15, 22-24.
- 農林水産省（2008）“地力増進基本指針”，農林水産省生産局農産部農業環境対策課，https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf, (2020.4.13 参照).
- 農林水産省農林水産技術会議事務局（2010）新版標準土色帖．富士平工業
- 日本ペドロロジー学会（1997）土壌調査ハンドブック．博友社，169 pp.
- 織田 春紀（2001）ミニチュア採種園秘術マニュアル（I）．林木の育種，200, 70-73.
- 林野庁（1964）採種園の施業要領（39. 林野造第 1720 号）．林野庁，20pp.
- 林野庁（2019）“平成 30 年度森林・林業白書（令和元年 6 月 7 日公表）”，279 pp.
- <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/30hakusyo/zenbun.html>, (2020 年 4 月 13 日閲覧).
- 林野庁林業試験場（1955）国有林林野土壌調査方法書．農林省林業試験場，47 pp.
- 高橋 正通・小松崎 将一・長谷川 元洋・橋本 みのり・金子 信博（2013）森林土壌の特徴と地力増進基本指針による農耕地土壌との比較—環境保全型農業の参照としての森林土壌—．日本土壌肥料科学雑誌，84, 275-284.
- 東北育種推進東北地区協議会（2011）東北育種基本区ミニチュア採種園技術マニュアル 2011.（独）森林総合研究所林木育種センター東北育種場，67 pp.
- 蓬田 英俊（2020）岩手県のカラマツ採種園の土壌化学性．岩手県林業技術センター研究報告，28, 17-25.

Appendix 1. 東北育種場スギミニチュア採種園の土壌断面の記載と写真

Descriptions and photos of soil profiles in the miniature seed orchards of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) trees at Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI.

【断面 1】区画 222 適潤性褐色森林土 BD

母材 岩手火山岩屑なだれ堆積物（出典：土井 1991, 岩手県滝沢村教育委員会 1997）

調査地 岩手県滝沢市大崎

図幅 1:25,000 鷹高 緯度 39°49'5"N 経度 141°8'26"E

標高 236 m 地形 北上川河岸段丘上部

断面方位 347° N 傾斜 6° 調査土壌深 115 cm+

林相 スギミニチュア採種園（2008 年植栽・造成）

調査者氏名 小野賢二・竹田宣明・宮本尚子 調査日 2018.7.25

土壌断面の記載 …

L: 0.5 cm	イネ科草本の枯れ葉
A1: 0 ~ 25 cm	黒褐色 (10YR 2/2)、壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の大垂角塊状構造、非常に砕けやすい、軟 (14.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり・中根乏し、アリの巣あり、次層位との層界は平坦漸変
A2: 25 ~ 35 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、砂質壤土、潤、石礫なし、弱～中度の大垂角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (21.4*)、細小泡孔隙あり、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との層界は平坦漸変
A3: 35 ~ 45 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、潤、石礫なし、弱～中度の大垂角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (19.8*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との層界は平坦漸変
A4: 45 ~ 58 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、堅 (19.0*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中根乏し、スギ腐朽根有り、次層との層界は平坦漸変
B: 58 ~ 80 cm	黒褐～暗褐色 (10YR 2 ~ 3/3)、埴壤土、潤～湿、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、堅 (17.0*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦判然
2A: 80 ~ 105 cm	黒褐色 (10YR 2/2)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、細小泡孔隙乏し・小導管孔隙乏し、孔隙率 2、小根乏し、次層との層界は不規則判然
2B: 105 ~ 115+ cm	暗褐色 (10YR 3/4)、砂質埴土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (16.2*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面 2】区画 223 適潤性褐色森林土 BD

母材 岩手火山岩屑なだれ堆積物（出典：土井 1991, 岩手県滝沢村教育委員会 1997）

調査地 岩手県滝沢市大崎

図幅 1:25,000 鷹高 緯度 39°49'5"N 経度 141°8'27"E

標高 236 m 地形 北上川河岸段丘上部

断面方位 350° N 傾斜 5° 調査土壌深 120 cm+

林相 スギミニチュア採種園（2009 年植栽）

調査者氏名 小野賢二・竹田宣明・宮本尚子 調査日 2018.7.25

土壌断面の記載 …

L: 0.5 cm	イネ科草本の枯れ葉
A1: 0 ~ 25 cm	黒褐色 (10YR 2/2)、壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (15.0*)、隙間孔隙・細小泡孔隙あり、孔隙率 3、細・小根あり・中・大根乏し、アリの巣あり、次層位との層界は不規則漸変
A2: 25 ~ 35 (~ 40) cm	黒褐色 (10YR 2/2 ~ 3)、砂質埴壤土、潤、石礫なし、弱度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (20.4*)、細小泡孔隙あり、孔隙率 2、細・小根乏し、次層との層界は不規則漸変
A3: 35(~ 40) ~ 55(~ 60) cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (20.8*)、中導管孔隙乏し、孔隙率 3、細・小根乏し、次層との層界は不規則漸変
B: 55(~ 60) ~ 70(~ 75) cm	暗褐色 (10YR 3/4)、埴壤土、湿、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、堅 (21.8*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小根（スギの根）乏し、次層との層界は不規則漸変
2A1: 70(~ 75) ~ 80(~ 90) cm	暗褐色 (10YR 3/3)、壤土、潤、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、すこぶる堅 (22.8*)、孔隙なし、孔隙率 2、根なし、次層との層界は不規則漸変
2A2: 80(~ 90) ~ 100(~ 120) cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、孔隙なし、孔隙率 2、大根（スギ根）乏し、次層との層界は不規則漸変
2B: 100(~ 120)+cm	褐色 (10YR 4/6)、砂質埴土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (19.8*)、孔隙なし、孔隙率 2、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面3】区画 225 適潤性褐色森林土 BD

母材 岩手火山岩屑なだれ堆積物（出典：土井 1991, 岩手県滝沢村教育委員会 1997）

調査地 岩手県滝沢市大崎

図幅 1:25,000 鷹高 緯度 39°49'16"N 経度 141°8'37"E

標高 236 m 地形 北上川河岸段丘上部

断面方位 330° N 傾斜 1° 調査土壌深 120 cm+

林相 スギミニチュア採種園（2010 年植栽）

調査者氏名 小野賢二・竹田宣明・宮本尚子 調査日 2018.7.26

土壌断面の記載 …

- L: 0～3 cm 整枝剪定後のスギ落葉・落枝、イネ科草本の枯れ葉
- A1: 0～12 cm 黒色～黒褐色 (10YR 2/1～2)、壤土、潤、石礫なし、弱度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (16.8*)、小導管孔隙乏し・細小泡孔隙あり、孔隙率 3、細根あり・小根乏し、次層位との層界は平坦漸変
- A2: 12～
24(～32) cm 黒褐色 (10YR 2/2)、壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (15.6*)、細小泡孔隙あり、孔隙率 3、細根あり・小・中根乏し、次層との層界は不規則漸変
- B1: 24(～32)～
36(～40) cm 黒褐色 (10YR 2/3)、砂質埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、すこぶる堅 (22.6*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との層界は不規則漸変
- B2: 36(～40)～
60 cm 黒褐色 (10YR 2/2)、埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (21.6*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との層界は平坦漸変
- B3: 60～80 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、微砂質埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (23.0*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との層界は平坦漸変
- 2A: 80～100 cm 黒色 (7.5YR 2/1)、埴壤土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (18.6*)、細小泡孔隙あり、孔隙率 2、小根乏し、次層との層界は平坦漸変
- 2B: 100～125+cm 褐色 (7.5YR 4/6)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.6*)、小導管孔隙含む、孔隙率 3、細根乏し

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



Appendix 2. 対照地（東北育種場圃場）の土壌断面の記載と写真

Description and photo of soil profile in experimental site of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) trees at Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI.

【断面 1】区画 222 適潤性褐色森林土 BD

母材 岩手火山岩屑なだれ堆積物（出典：土井 1991, 岩手県滝沢村教育委員会 1997）

調査地 岩手県滝沢市大崎

図幅 1:25,000 鷹高 緯度 39°49'5"N 経度 141°8'26"E

標高 236 m 地形 北上川河岸段丘上部

断面方位 347° N 傾斜 6° 調査土壌深 115 cm+

林相 スギミニチュア採種園（2008 年植栽・造成）

調査者氏名 小野賢二・竹田宣明・宮本尚子 調査日 2018.7.25

土壌断面の記載 …

L: 0.5 cm	イネ科草本の枯れ葉
A1: 0 ~ 25 cm	黒褐色 (10YR 2/2)、壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、軟 (14.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり・中根乏し、アリの巣あり、次層位との層界は平坦漸変
A2: 25 ~ 35 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、砂質壤土、潤、石礫なし、弱～中度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (21.4*)、細小泡孔隙あり、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との層界は平坦漸変
A3: 35 ~ 45 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、潤、石礫なし、弱～中度の大亜角塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (19.8*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との層界は平坦漸変
A4: 45 ~ 58 cm	黒褐色 (10YR 2/3)、埴壤土、潤、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、堅 (19.0*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細・小・中根乏し、スギ腐朽根有り、次層との層界は平坦漸変
B: 58 ~ 80 cm	黒褐～暗褐色 (10YR 2 ~ 3/3)、埴壤土、潤～湿、石礫なし、壁状構造、砕けやすい、堅 (17.0*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦判然
2A: 80 ~ 105 cm	黒褐色 (10YR 2/2)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、細小泡孔隙乏し・小導管孔隙乏し、孔隙率 2、小根乏し、次層との層界は不規則判然
2B: 105 ~ 115+ cm	暗褐色 (10YR 3/4)、砂質埴土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (16.2*)、細小泡孔隙乏し、孔隙率 2、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



Soil properties and morphology in miniture Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* (Thunb.)) seed orchards

Kenji ONO^{1)*}, Nobuaki TAKEDA²⁾ and Naoko MIYAMOTO²⁾

Abstract

Soil fertilization in miniature seed orchards is important to ensure the growth and reproduction of seed trees, which are heavily damaged by seed production practices. A survey and physicochemical analysis of soil were conducted in miniature *Cryptomeria japonica* seed orchards at the Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI to determine the orchard soil properties before establishing procedures for standardized soil fertilization management. Soils were classified as typical brown forest soils and were generally rich in humus, poor in inorganic-N and available-P₂O₅ contents along with low degrees of base saturations compared with orchard and farmland soil values from previous reports. These results will be used to establish a concrete fertilization management plan for miniature seed orchards.

Key words : miniture seed orchard, *Cryptomeria japonica*, soil chemistry, soil physics, fertilization

Received 23 April 2020, Accepted 6 July 2020

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

2) Tohoku Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, (FFPRI)

* Tohoku Research Center, FFPRI, 92-25 Nabeyashiki, Shimokuriyagawa, Morioka, Iwate, 020-0123, JAPAN; E-mail: don@ffpri.affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

宝川森林理水試験地観測報告—本流・初沢試験流域— (2001年1月～2010年12月)

久保田 多余子^{1)*}、野口 正二¹⁾、清水 貴範¹⁾、阿部 俊夫²⁾、清水 晃³⁾、壁谷 直記³⁾、
延廣 竜彦²⁾、飯田 真一¹⁾、玉井 幸治¹⁾、村上 茂樹³⁾、澤野 真治⁴⁾、坪山 良夫⁵⁾

要旨

宝川森林理水試験地(気象観測露場:東経139°01′、北緯36°51′;標高816 m)は、1937年11月に降水量と流出量の観測を開始して以来、観測を継続してきた。本報では宝川森林理水試験地で観測した、2001年1月から2010年12月までの日降水量と日流出量を公表する。この期間中には、水位—流量曲線の修正と気象観測測器の更新を行った。また、地形と林況を地理情報システムデータとして整備したので、これについても述べる。

キーワード:宝川森林理水試験地、日降水量、日流出量、水位-流量曲線、林況

1. はじめに

宝川森林理水試験地(群馬県利根郡みなかみ町大字藤原大利根国有林内)は奥利根水源地域のブナを主とする天然林を開発するにあたり、治水と水源涵養の観点から森林の伐採と流出量の関係を明らかにすることを目的として、東京営林局(現 関東森林管理局)が林業試験場(現 森林総合研究所)の協力の下に、1933年(昭和8年)に試験地の設置を決定した。理水試験の実行は東京営林局と林業試験場の共同で行い、試験結果の取りまとめは林業試験場が行うこととなった。1934年(昭和9年)から観測施設の創設に着手し、1936年(昭和11年)に竣工、1937年(昭和12年)11月より観測を開始した。1952年(昭和27年)に観測施設が前橋営林局(現 関東森林管理局)から林業試験場(現 森林総合研究所)へ所管換えとなり、現在も森林総合研究所により観測を継続している(藤枝・志水 1994、志水 1997、坪山ら 2007)。これまでに、1937年11月から2000年12月までの日降水量と日流出量の観測値を公表してきた(農林省林業試験場 1961、宝川試験地・防災部理水第一研究室 1979、藤枝・志水 1994、久保田ら 2020)。また、これらのデータを森林総合研究所森林理水試験地データベースにおいて提供している(森林総合研究所 2020)。本報では2001年1月から2010年12月までの日降水量と日流出量を公表し、研究活動や行政活動に資するデータとして提供することを目的とする。

2. 試験地の概要と沿革

宝川森林理水試験地は気象観測露場が東経139°01′、北緯36°51′にあり、標高816～1945 mに位置している。試験地内に本流試験流域(1905.66 ha)と初沢試験流域(117.90 ha)を設定している(Fig. 1、Fig. 2a)。地形、地質、土壌、気候等の詳細および観測施設については、Table 1にまとめた既報の試験地報告を参照されたい。

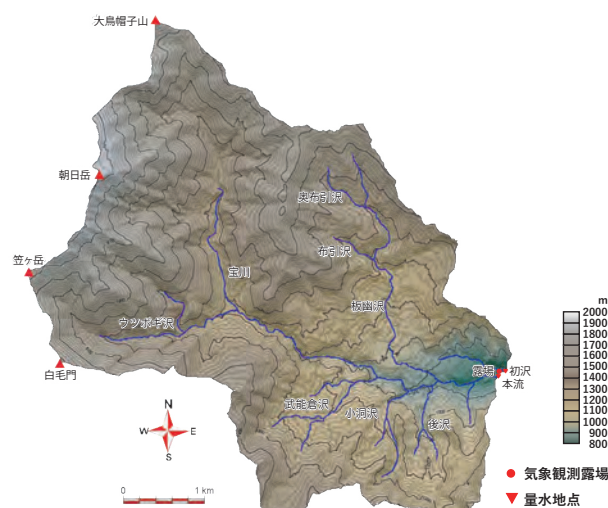


Fig. 1. 宝川森林理水試験地(久保田ら 2020)

原稿受付:令和2年5月13日 原稿受理:令和2年7月27日

1) 森林総合研究所 森林防災研究領域

2) 森林総合研究所 東北支所

3) 森林総合研究所 九州支所

4) 森林総合研究所 北海道支所

5) 森林総合研究所理事

* 森林総合研究所 森林防災研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

本報の観測報告期間中（2001 年～2010 年）の沿革は Table 2 の通りである。これ以前については藤枝ら（1996）、志水（1997）、および久保田ら（2020）を参照されたい。

本流試験流域では 1998 年 8 月の台風第 4 号時に多量の土砂が発生し、水路や測定井（Appendix Fig. 1）が瓦礫や土砂に埋まり破損した。この復旧のため、2002 年 3～11 月に水路の改修工事を実施した（Appendix photo 1、Appendix Fig. 1）。この改修工事では劣化や摩耗により傷んだ水路表面の部材を取り除き、新しいコンクリートを打ち直した。この結果、水路底面で 30 cm、両側面各 20 cm の増厚となり、水路の幅が 40 cm 縮小した。このため、工事完了後に新たな水路断面の測定を行い、流量に応じた流速分布の測定を継続して実施し、水位－流量曲線の取り直しを行った。2005 年 12 月は各地で記録的な低温

と大雪となり、本流試験流域の鉄製橋が大量の積雪の重みで下流側に傾いた。この鉄製橋は水位－流量曲線を導くために、橋の上からプライス流速計を下ろし、流速を測定するために使用されてきた橋である。翌年の 2006～2007 年にかけての冬は少雪だったため、鉄製橋は傾いた状態で持ちこたえたが、2007～2008 年の冬の雪によって鉄製橋が転倒した。このため、2009 年 11 月にこの橋を一時的に撤去した。

初沢試験流域では 1998 年 8 月の台風第 4 号時に量水堰堤（Appendix Fig. 1）が瓦礫や土砂に埋まったため、2002 年 3～11 月に量水堰堤の排土と小試験流域 1 号沢（Fig. 2a）の土留め工事を行った。さらに、2005 年 6～11 月に下流側湛水池とノッチ部分を含む量水堰堤を中心に大改修を実施した（Appendix photo 2、Appendix Fig. 1）。初沢

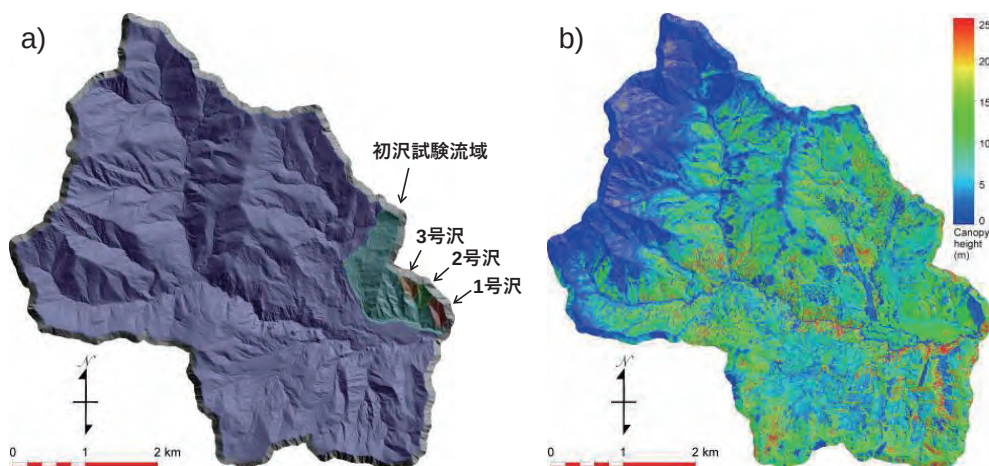


Fig. 2. 宝川森林理水試験地の a) 初沢試験流域および小試験流域の位置と b) 樹高の分布 (2003 年時点)

Table 1. 宝川森林理水試験地に関する既報の試験地報告

Previous reports on Takaragawa experimental watershed

報告書タイトル	著者（出版年）
宝川森林治水試験地報告 其の一、其の二（第 1 回報告）	山田（1943）
宝川森林治水試験第 2 回報告	武田（1951）
森林理水試験地観測報告（日降水量・日流出量）	農林省林業試験場（1961）
宝川森林治水試験第 3 回報告	氷見ら（1964）
宝川森林理水試験地観測報告 本流・初沢試験流域（1959 年 1 月～1977 年 12 月）	宝川試験地・防災部理水第一研究室（1979）
宝川森林理水試験地観測報告 初沢小試験流域 1, 2, 3 号沢（1957 年 1 月～1981 年 12 月）	宝川試験地・防災部理水第一研究室（1984）
宝川森林治水試験第 4 回報告	吉野・菊谷（1985a）
宝川森林治水試験第 5 回報告	吉野・菊谷（1985b）
宝川森林理水試験地観測報告 一本流・初沢試験流域（1978 年 1 月～1990 年 12 月）	藤枝・志水（1994）
宝川森林理水試験地水文観測 53 年間の記録	藤枝ら（1996）
宝川森林理水試験地観測報告 一本流・初沢試験流域（1991 年 1 月～2000 年 12 月）	久保田ら（2020）

Table 2. 2001 ～ 2010 年にかけての 宝川森林理水試験地の沿革
Events on Takaragawa experimental watershed from 2001 through 2010

年月	出来事
2002 年 (平成 14 年) 3 ～ 11 月	1998 年 8 月の台風第 4 号被害に対する復旧改修工事 (本流試験流域水路の大改修、初沢試験流域沈砂池内の排土、小試験区 1 号沢の土留め工事)
2002 年 (平成 14 年) 8 月	気象観測システムを更新、本流・初沢試験流域の水位 - 流量曲線を修正
2002 年 (平成 14 年) 9 月	改修工事とともに本流試験流域の水位 - 流量曲線を変更
2003 年 (平成 15 年) 10 月	航空機レーザー測量による地形測量
2004 年 (平成 16 年) 2、4 月	航空機レーザー測量による積雪深測量
2004 年 (平成 16 年) 10 月	試験地事務所 (藤原地区「師入」) を廃止
2005 年 (平成 17 年) 7 ～ 12 月	初沢試験流域、下流側湛水池とノッチ部を含む量水堰堤の大改修工事
2006 年 (平成 18 年) 1 月	豪雪により本流水路に架かる鉄製橋が傾く。気象露場施設が破損・復旧
2006 年 (平成 18 年) 6 ～ 11 月	初沢試験流域、量水施設上流部沈砂池の漏水防止工事
2008 年 (平成 20 年) 3 月	2006 年 1 月の豪雪により傾いていた本流水路に架かる鉄製橋が転倒
2008 年 (平成 20 年) 11 月	本流試験流域水路の土砂浚渫
2009 年 (平成 22 年) 11 月	豪雪で転倒した本流試験流域水路に架かる鉄製橋を撤去

Table 3. 気象系システムの概要
Meteorological observation system

構成および測定項目 Configuration of Measurements	測器 Instrument
気象観測タワー Meteorological Tower	Model UT10 (Campbell Scientific, Inc.)
太陽電池パネル (5.59 m) Solar Panel	MSX10 (Campbell Scientific, Inc.)
データロガー (3.77 m) Data Logger	CR10X Data Logger (Campbell Scientific, Inc.)
ストレージモジュール (3.77 m) Storage Module	SM4M Storage Module (Campbell Scientific, Inc.)
風向風速 (6.50 m) Wind Direction and Speed	03001 Wind Sentry (R. M. Young Company)
温湿度 (4.82 m) Temperature and Humidity	HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe (Vaisala Corporation)
日射量 (5.59 m) Solar Radiation	CM3 Pyranometer (Kipp & Zonen B.V.)
純放射量 (5.59 m) Net Radiation	Q7.1 Net Radiometer (REBS, Inc.)
地温 (-1.0 m、-2.0 m) Ground Temperature	107 Temperature Probe (Campbell Scientific, Inc.)
雨量 (新) (4.4 m) Rainfall (new)	TE525MM Tipping Bucket Rain Gauge (Texas Electronic, Inc.)
雨量 (旧) Rainfall (old)	B-432 Automatic Recording Tipping Buchet Rain Gauge (中浅測器 (株) : 現・横河電子機器 (株))

() 内の数字は設置高を示す

試験流域では 1998 年 8 月の台風第 4 号以前にも夏季の渇水流量発生時に水位がマイナスとなることがあり、沈砂池から漏水していると考えられてきた。2003～2005 年に漏水状況が急速に悪化し、2005 年の大改修期間を含め長期に欠測が生じた。このため 2006 年 6～11 月に、量水観測施設の上流部を対象として大規模な漏水防止工事を実施した (Appendix photo 3, Appendix Fig. 1.)。なお、洪水時や冬季にも漏水は発生している可能性があるが、洪水流量に比べ漏水量は少ないと考えられる。また、冬季に水位がマイナスになることはなかった。

気象観測露場は 1935 年 8 月に建設されて以来同じ場所にある。50 m² の敷地に百葉箱、風力塔、地温測定用の地下室などからなり、気温、最高・最低気温、湿度、雨量等の観測が行われてきた (志水 1997)。2002 年 8 月にこれらに追加して新規に気象系および融雪系システムからなるデジタルの気象観測システムを導入した (Table 3, 4)。この気象観測システムが順調に稼働したことから、2004 年 10 月以降、新システムに完全に移行した。

2003 年 10 月～2004 年 4 月に、地上調査が困難な急峻な山岳地帯において森林が積雪や融雪に与える影響を明らかにするため、本流試験流域と初沢試験流域を対象に無積雪期 (2003 年 10 月)、最大積雪期 (2004 年 2 月) 及び融雪最盛期 (同年 4 月) に航空レーザー測量を行い、積雪深 (地面と雪面の標高差) および積雪深低下量 (2

月と 4 月の雪面標高の差) のグリッドデータを作成した (Tsuboyama et al.2008, 坪山ら 2009, 2010, 2011)。

3. 観測方法

3-1. 気象観測

気象系システムは風向、風速、温度、相対湿度、下向き短波放射、上向き短波放射、純放射、雨量、地温 (2 深度) からなる (Table 3)。融雪系システムは大気圧、積雪深、積雪深計での測定値補正用の気温、地温 (2 深度)、地中熱フラックス (2 か所)、融雪ライシメーターを通過する融雪水量、雨雪量からなる (Table 4)。観測に用いられる大部分の測器は、気象観測露場に建てられた気象観測用タワーに設置されている。気象観測用タワーは直立する 3 本の柱パイプと、それを支持するための補助パイプからなり、高さは 6.7 m、柱パイプ間の距離は 0.26 m である。タワー上部は三角錐型で、最上部には避雷針および測器設置用クロスアームが設置されている。融雪水量は、気象観測露場において地面に設置した融雪ライシメーターを通過する融雪水を地下室内で集め、転倒ます式雨量計により測定する。測定間隔は気象系・融雪系システムともに 10 分であり、測定したデータはシステムごとに気象観測用タワーに設置したデータロガーとデータストレージモジュールに記録する。データストレージモジュールを交換することでデータの回収を行った。

Table 4. 融雪系システムの概要
Snow melt observation system

構成 Configuration of Measurements	測器 Instrument
太陽電池パネル (5.59 m) Solar Panel	MSX10 (Campbell Scientific, Inc.)
データロガー (3.77 m) Data Logger	CR10X Data Logger (Campbell Scientific, Inc.)
ストレージモジュール (3.77 m) Storage Module	SM4M Storage Module (Campbell Scientific, Inc.)
大気圧 (3.77 m) Barometric Pressure	CS105 Barometric Pressure Sensor (Vaisala Corporation)
積雪深 (4.00 m) Snow Depth	SR50 Sonic Ranging Sensor (Campbell Scientific, Inc.)
地温 (-0.02 m、-0.06 m) Ground Temperature	107 Temperature Probe (Campbell Scientific, Inc.)
地熱 (-0.08 m、-0.08 m) Underground Heat Flow	HFT3 Soil Heat Flux Plate (REBS, Inc.)
融雪量 (0.00 m) Snowmelt	Snowmelt Lysimeter + RT-10 Tipping Bucket Rain Gauge ((株) 池田計器製作所)
降水量 (3.00 m) Precipitation	TE525 Tipping Bucket Rain Gauge + CS705 Precipitation Adapter (Texas Electronic, Inc.)

() 内の数字は設置高を示す

Table 5 に新しいシステムにより観測を開始した 2003 年から 2010 年までの平均気温と平均日射量（日積算値）をまとめた。この 8 年間の年平均気温は $8.3 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、年平均日射量は $11.0 \pm 0.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった。気温は農研機構メッシュ農業気象データ（農業・食品産業技術総合研究機構 2020）と概ね 1 %未満の差（ $R^2 = 0.995$ 以上）であり、藤原アメダス（気象庁 2020）の気温との相関も極めて高かった（ $R^2 = 0.992$ 以上）。日射量は近隣の測候所である前橋と高田（気象庁 2020）がやや遠隔地となることから、観測値との相関はそれほど高くなく、2003 年の値で比較したところ、それぞれ $R^2 = 0.53$ （前橋）、 $R^2 = 0.72$ （高田）であった。観測値と農研機構メッシュ農業気象データ値との相関は比較的高かった（ $R^2 = 0.90$ ）が、2003～2010 年の期間で平均的に 5 % 程度、観測値の方が大きかった。

3-2. 流量観測

本流試験流域においては 2002 年 10 月から、初沢試験流域においては 2002 年 9 月から、従来の自記式水位計に加え、圧力式水位計による観測を開始した（Table 6）。圧力式水位計により水位を 10 分毎に計測し、観測値をデータロガーとデータストレージモジュールに記録し、データストレージモジュールを交換することでデータの回収を行った。自記式および圧力式水位計によって計測された水位は、ポイントゲージによる水位の直読値により補正した。また、自記式および圧力式水位計で測定した水位の相関は非常に高く、本流試験流域で $R^2 = 0.9991$ 、初沢試験流域で $R^2 = 0.9994$ であり、回帰直線も 1:1 の直線にほぼ等しかった。

Table 5. 年平均気温と年平均日射量

Annual mean temperature and annual mean daily solar radiation

年	年平均気温 [$^{\circ}\text{C}$]	年平均日射量 [$\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]	欠測日	
			Date of missing	
			気温	日射量
Year	Annual Mean Temperature	Annual Mean Daily Solar Radiation	Temperature	Solar Radiation
2003	8.3	10.5		
2004	8.9	11.3		
2005	8.0	11.0		
2006	8.2	11.0	1/15, 1/21, 9/21	9/21
2007	8.7	11.0		
2008	8.3	11.2		
2009	8.5	11.0		
2010	8.8	11.1		

Table 6. 水位観測システムの概要

Water level observation system

測定項目	測器
Configuration of Measurements	Instrument
太陽電池パネル	MSX10 (Campbell Scientific, Inc.)
Solar Panel	
データロガー	CR10X Data Logger (Campbell Scientific, Inc.)
Data Logger	
ストレージモジュール	SM4M Storage Module (Campbell Scientific, Inc.)
Storage Module	
水位計（新）	CS420-L Pressure Type Water Level Gauge (Druck Incorporated)
Water Level (new)	
水位計（旧）	ALR-213WP/213 Automatic Recording Water Level Gauge ((株) 池田計器製作所)
Water Level (old)	

3-3. 水位－流量曲線の変更

3-3-1. 本流試験流域

本流試験流域の流量計算には従来、森林理水試験地観測報告（農林省林業試験場 1961）に報告された、以下の式が用いられてきた。

$$\begin{aligned} Q &= (0.032 - 0.047H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & H < 9.1 \\ Q &= (0.056 - 0.122H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & 9.1 \leq H < 33.4 \\ Q &= (0.049 - 0.080H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & 33.4 \leq H \end{aligned}$$

ここで、 H ：水位（cm）、 Q ：流量（ m^3s^{-1} ）

しかしながら、式の切り替えの水位がわずかにずれていることが判明した。また、 $H < 2.164$ となると流量が負になった。このことから、以下のように切り替えの水位を変更した。

$$\begin{aligned} Q &= 0 & H < 2.164 \\ Q &= (0.032 - 0.047H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & 2.164 \leq H < 9.769 \\ Q &= (0.056 - 0.122H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & 9.769 \leq H < 36.001 \\ Q &= (0.049 - 0.080H^{-0.5}) \cdot H^{1.5} & 36.001 \leq H \end{aligned}$$

この式は 2002 年 7～9 月に行われた改修工事終了後の 2002 年 9 月 14 日以降に適用した。このため、これ以前の流量については、水位が $9.1 \leq H < 9.769$ の範囲にある時、流量が最大で 5.5 % 過小に計算されていた。流量のずれは $H = 9.1$ cm の時に最も大きく、変更前の計算方式で流量は $Q = 0.451 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 0.085 mm h^{-1} ）変更後の計算方式では $Q = 0.472 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 0.081 mm h^{-1} ）であった。また、水位が $33.4 \leq H < 36.001$ の範囲で、流量は最大 0.8 % 大きく計算されていた。流量のずれは $H = 33.4$ cm の時に最大で、変更前の計算方式で $Q = 6.735 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 1.27 mm h^{-1} ）、変更後の計算方式で $Q = 6.786 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 1.28 mm h^{-1} ）であった。このことから、式を切り替える水位を変更しても流量の計算結果に大きな差は生じないと考えられた。

なお、2002 年 7～9 月の改修工事により放水路は底面が 30 cm 厚くなり、側壁が左右とも 20 cm 厚みを増して、工事前の水路幅 14.0 m が工事後に 13.6 m となった。これに伴う措置として工事後の流量 Q' （ m^3s^{-1} ）については、以下の式で計算した。

$$Q' = Q \cdot 13.6/14.0$$

この式を 2002 年 9 月 14 日以降の流量に適用した。

3-3-2. 初沢試験流域

初沢試験流域の量水施設は、幅 1 m の矩形堰が 7 基横に並び、中央の堰が他の 6 基よりも 50 cm 低い位置に取り付けられている。これらの堰の構造は同一で、個々の堰の流量計算には以下の式が用いられている（農林省林業試験場, 1961）。

$$\begin{aligned} f(H) &= 3089.58 \cdot H^{1.1873} & 0 < H \leq 5 \\ g(H) &= \left\{ \frac{0.01 \cdot B + 4.5}{16.44 \cdot \log H + 30.56} + 0.3 \right\} \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot H^{1.5} & 5 < H \end{aligned}$$

ここで、 $f(H)$ 、 $g(H)$ ：流量（ cm^3s^{-1} ）、 H ：越流水深（cm）、 B ：堰堤幅（100 cm）、 g ：重力加速度（ 980 cm s^{-2} ）。

このように $H = 5$ を境に式を使い分けているが、実際に $f(H)$ と $g(H)$ が交差するのは $H = 4.615$ 付近であった。したがって堰全体の流量は、以下のように 4 段階の式で求めることにした。

$$\begin{aligned} Q &= f(H) & 0 < H \leq 4.615 \\ Q &= g(H) & 4.615 < H \leq 50 \\ Q &= g(H) + f(H - 50) \times 6 & 50 < H \leq 54.615 \\ Q &= g(H) + g(H - 50) \times 6 & 54.615 < H \end{aligned}$$

この式は 2002 年 8 月 1 日以降の流量に適用した。このため、これ以前の流量は水位が $4.615 \leq H < 5$ の範囲で最大 2.1 % 過大に計算されていた。 $H = 5$ cm の時、流量のずれが最も大きく、従来の計算方式で流量は $Q = 0.0213 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 0.065 mm h^{-1} ）、変更後の計算方式で $Q = 0.0209 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$ （1 時間当たりの水頭に換算して 0.064 mm h^{-1} ）であった。このように、式を切り替える水位を変更しても流量に大きな差は生じないと考えられた。

4. 林況の変遷

無積雪期の 2003 年 10 月に航空機レーザー測量を行い樹高（地面と樹冠の標高差）のグリッドデータを作成した。また、2004 年 6 月と 10 月に撮影された空中写真の判読により、ブナ、ヒバ等を主体とする天然林の分布域と植栽樹であるスギ、カラマツの分布域を抽出するとともに、過去の施業履歴から林齢を推定した（坪山ら 2009, 2010, 2011）。Fig. 2 に宝川森林理水試験地の地形と樹高の分布（2003 年時点）、Fig. 3 に地被状態の変遷、Fig. 4 に林齢の分布（2004 年時点）を示した。

本流試験流域および初沢試験流域の最初の林況調査は試験開始前の 1935～1936 年に行われた（山田 1943）。流域内はブナを主とする温帯北部の天然林で占められていた（農林省林業試験場 1961）。ブナが総蓄積量の 60 % 以上を占め、その他の主な樹種は広葉樹ではナラ類、カエデ類、ホオノキ、針葉樹ではヒバ、ヒメコマツである。一部に森林限界（約 1500 m）以上の無立木地域と下流部で極めて小面積のスギ人工林があった（農林省林業試験場 1961）。標高が高くなるほど総蓄積量が減少する傾向があり、また谷や峰の地形、日当たりによって樹種や蓄積量の違いがみられた（山田 1943）。

本流試験流域においては、試験開始前の 1934～1938 年に板幽沢と後沢（Fig. 1）において計 296.54 ha の伐採が行われた。局部的に地味良好な平坦地は皆伐され、跡

地にスギ、カラマツが植栽された（氷見ら 1964）。Fig. 3 に示した 1959 年時の地被状態においては、この時の伐採と植栽は明瞭に確認できない。試験開始後の 1939～1960 年まで伐採は行なわれず、1961 年から再び流域下流部の板幽沢、小洞沢、後沢で天然林の伐採が始まり、

1979 年まで中断期間をはさみながら継続された。この期間の伐採面積は約 500 ha、伐採量は 60000 m³ に達した（吉野・菊谷 1985a）。伐採は流域下部で小面積団地状に行われ、尾根筋や斜面の方向に対して直角に樹林帯を残存させた（吉野・菊谷 1985a）。伐採跡地にはスギ、カラマツを植

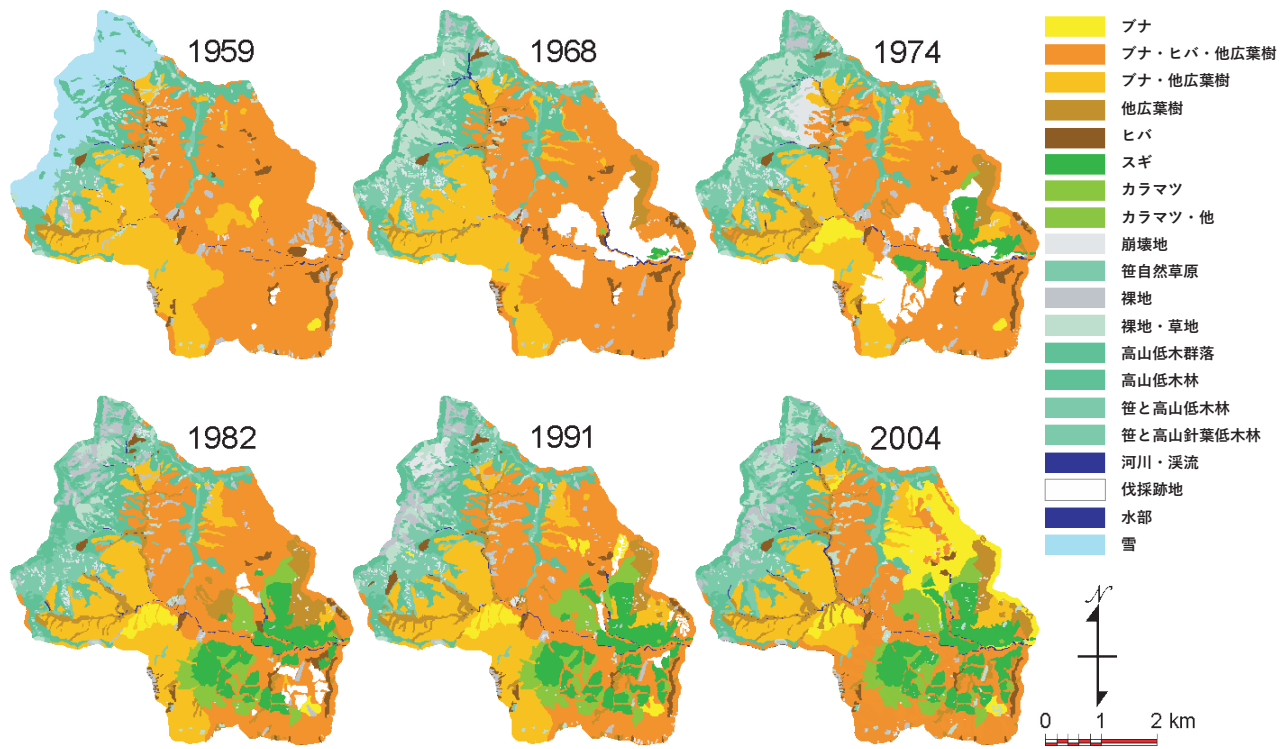


Fig. 3. 宝川森林理水試験地の地被状態の変遷

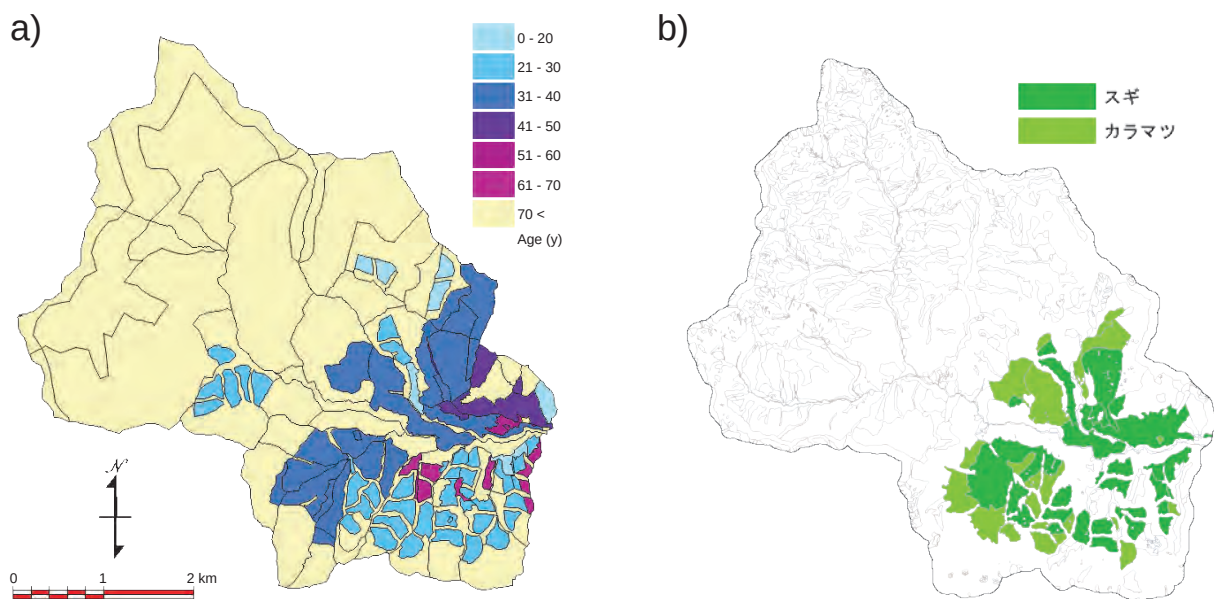


Fig. 4. 宝川森林理水試験地の a) 林齢の分布 (2004 年時点) と b) 植栽したスギ、カラマツの分布

栽した。この伐採と植栽の様子が Fig.3 に示した 1968 年以降の地被状態と Fig. 4a および 4b において確認できる。林齢は植栽年が早いほど高くなっており、Fig. 4a のようであった。

初沢試験流域では観測開始後の 1938 年から 1947 年までは伐採が行われず、1948～1953 年にかけて全流域にわたり材積で 50 % の択伐が行われた（吉野・菊谷 1985b, 村上ら 2003）。択伐後 1960 年までは放置された。1957 年 1 月より初沢試験流域の一部に小試験流域 1 号沢、2 号沢、3 号沢が設置され（Fig. 2a、宝川試験地・防災部理水第一研究室 1984）、これ以外の初沢試験流域は、1961 年から皆伐が開始され 1963 年に終了した。Fig. 3 に示した 1968 年の地被状態において、小試験流域を除く初沢試験流域の皆伐地が確認できる。小試験流域 1 号沢は 1986 年まで伐採されなかったが、2 号沢は 1963～1964 年に材積で 60 % の択伐が実施され、1972 年に皆伐された。3 号沢は 1962～1963 年に材積で 30 % の択伐が実施された。1 号沢は 1987 年に面積割合で 52.5 % の等高線にそった帯状伐採が行われ、1995 年に皆伐された（志水 1997）。Fig. 3 に示した 1991 年の地被状態において、小試験流域 1 号沢内の帯状伐採地が確認できる。

Fig. 2b と Fig. 3 に示されているように、標高が高い地域に森林限界以上であるための無立木地帯（低木林、裸地や草地）がある。また、皆伐は低標高の地帯で行われており、皆伐後に植栽され、林齢が 0～40 年のところは比較的樹高が低い（Fig. 2b、Fig. 4a）。一方、Fig. 3 に示した 2004 年の地被状態において天然林のブナ、ブナ・ヒバ、ブナ・他広葉樹の地帯で、林齢が 70 年を超える地帯では樹高が 15 m 以上であり、25 m を超えるものが見られる（Fig. 2b）。

5. 日降水量および日流出量

日降水量と本流試験流域および初沢試験流域の日流出量を Appendix Table 1 に示した。宝川森林理水試験地は降雪地帯にあるため、水年の区切りは降雨と降雪の区切りとなり、同時に根雪となって流出量が減少し始める時期である 11 月 30 日としている。また日界を 0 時～24 時としている。

日降水量については観測開始以来、転倒ます型雨量計による測定値を普通雨量計トータライザの貯留雨量をもとに補正してきた。2004 年 4 月までは森林総合研究所の元職員の協力により、普通雨量計トータライザの雨量を高頻度に測定することができた。しかし、2004 年 5 月以降は元職員による観測を中止したため、普通雨量計トータライザの観測頻度が減った。このことから、2004 年 4 月までは自記式転倒ます型雨量計（B-432 中浅測器株式会社製、一転倒 0.5 mm）による測定値を従来通り普通雨量計トータライザの貯留雨量をもとに補正して公表する。しかし、2004 年 5 月以降、普通雨量計トータライザの雨量をもとに補正を行っても降水量の精度向上が十分

に望めないことから、自記式転倒ます型雨量計による測定値を補正せずに公表する。また、2002 年 8 月以降、従来の自記式転倒ます型雨量計に加え、転倒ます型雨量計（TE525 Texas Electronic 社製、一転倒 0.1 mm）による観測を開始したが（Table 3）、本報では従来通り自記式転倒ます型雨量計（B-432 中浅測器株式会社製、一転倒 0.5 mm）による測定値を公表する。2002 年 11 月以降、冬季には転倒ます型雨量計（TE525 Texas Electronic 社製）にアダプター（CS705 Texas Electronic 社製）を連結し、不凍液を入れることにより冬期間でも降水量を測定できるようにした（Table 4）。しかしながら、雨量計内に入った雪が不凍液だけで十分融解しないことがあり、測定精度が十分でないと考えられることから、冬期間の日降水量の公表は従来通り行わない。

日流出量については、従来通り自記式水位計（ALR-213WP/213 池田計器製作所製）の水位をもとに計算した。ただし、本流試験流域において、2004 年 1 月～2005 年 12 月および 2010 年 2～12 月の期間、初沢試験流域において、2002 年 12 月～2006 年 5 および 2010 年 1～12 月の期間は圧力式水位計（CS420-L Druck 社製）の水位をもとに日流出量を計算した。

Table 7 に本観測期間（2001～2010 年）の 6～10 月降水量と年流出量をまとめた。この間の降水量は 929.9 ± 156.7 mm、流出量は本流試験流域で 2786.46 ± 529.11 mm であった。初沢試験流域では年間を通じて流出量を測定できたのは 2008 年のみで 1821.65 mm であった。1938～1990 年までの 6～10 月降水量の平均値が 916.1 mm、本流試験流域の流出量が 3097.41mm、および初沢試験流域

Table 7. 6-10 月降水量と年流出量
June to October precipitation and annual runoff

年 Year	降水量	年流出量	
	6-10 月合計	Annual Runoff	
	Total Precipitation	本流	初沢
	from Jun to Oct	HONRYU	SYOZAWA
	mm	mm	mm
2001	1091.5	2750.99	-
2002	1084.5	-	-
2003	(908.6)	2547.94	-
2004	(665.4)	2589.15	-
2005	1054.5	3390.89	-
2006	932.0	3860.59	-
2007	851.0	2406.59	-
2008	679.5	2853.40	1821.66
2009	(631.5)	2145.90	-
2010	816.5	2532.70	-

- : 欠測

() : 欠測ではないが不確定値を含む

の流出量が 1780.58 mm である（藤枝ら 1996）ことから、本報告期間の降水量は平均的であり、本流試験流域の流出量は 1938～1990 年までの平均値より 10 % 少なかった。初沢試験流域の流出量については欠測が多く、比較することができなかった。

謝 辞

関東森林管理局および利根沼田森林管理署には試験地の改修工事および運営において多大なご協力を頂きました。元森林総合研究所の志水俊夫氏、藤枝基久氏、竹内美次氏、松浦純生氏には試験地の運営において多大なご協力を頂きました。元森林総合研究所の故・吉野昭一氏、中野明男氏には試験地の維持管理および現地調査においてご尽力いただきました。後絹代氏、細見久美子氏および土屋恒子氏には自記紙の読み取りやデータ入力において多大なご支援を頂きました。ここに記し深甚の謝意を表します。なお、本資料の取りまとめに際し、環境省地球環境保全等試験研究費（農 1942）によるサポートを受けたことを付記します。

引用文献

- 藤枝 基久・志水 俊夫（1994）宝川森林理水試験地観測報告—本流・初沢試験流域—（1978 年 1 月～1990 年 12 月）。森林総合研究所研究報告, 368, 207-245.
- 藤枝 基久・野口 正二・小川 真由美・志水 俊夫・坪山 良夫・細田 育広（1996）宝川森林理水試験地水文観測 53 年間の記録。森林総合研究所研究報告, 370, 77-120.
- 水見 郷康・吉野 昭一・阿部 敏夫（1964）森林伐採にともなう暖候期間の流出量変化（宝川森林治水試験第 3 回報告）。林試研報, 170, 59-74.
- 気象庁（2020）気象庁アメダス。https://www.jma.go.jp/jp/amedas/,（参照 2020-04-09）。
- 久保田 多余子・野口 正二・清水 貴範・細田 育広・村上 茂樹・壁谷 直記・清水 晃・阿部 俊夫・坪山 良夫・玉井 幸治（2020）宝川森林理水試験地観測報告—本流・初沢試験流域—（1991 年 1 月～2000 年 12 月）。森林総合研究所研究報告, 454, 159-184.
- 村上 茂樹・久保田 多余子・澤野 真治（2003）宝川森林理水試験地の初沢地区における毎木調査, 森林総合研究所研究報告, 2, 207-217.
- 農業・食品産業技術総合研究機構（2020）農研機構メッシュ農業気象データ。https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start,（参照 2020-04-09）。
- 農林省林業試験場（1961）森林理水試験地観測報告（日降水量・日流出量）。農林省林業試験場, 225pp.
- 志水 俊夫（1997）宝川森林理水試験地における水研究の歩み。水利科学, 40, 1-29.
- 森林総合研究所（2020）森林総合研究所森林理水試験地データベース。https://www2.ffpri.go.jp/labs/fwd/,（参照 2020-03-03）。
- 宝川試験地・防災部理水第一研究室（1979）宝川森林理水試験地観測報告 本流・初沢試験流域（1959 年 1 月～1977 年 12 月）。林試研報, 302, 97-154.
- 宝川試験地・防災部理水第一研究室（1984）宝川森林理水試験地観測報告 初沢小試験流域 1, 2, 3 号沢（1957 年 1 月～1981 年 12 月）。林試研報, 327, 83-190.
- 武田 繁後（1951）年流出量と主なる降雨の増水量において（宝川森林治水試験第 2 回報告）。林試研報, 50, 1-87.
- 坪山 良夫・清水 晃・真島 征夫（2007）森林総合研究所宝川森林理水試験地。砂防学会誌, 60, 78-81.
- Tsuboyama, Y., Shimizu, A., Kubota, T., Abe, T., Kabeya, N. and Nobuhiro T. (2008) Measurement of snow depth distribution in a mountainous watershed using an airborne laser scanner. J. For. Plann., 13, 267-273.
- 坪山 良夫・清水 晃・久保田 多余子・阿部 俊夫・壁谷 直記・延廣 竜彦（2009）宝川森林理水試験地における積雪深分布への地形及び植生の影響。日本森林学会大会発表データベース, F09. https://doi.org/10.11519/jfsc.120.0.214.0,（参照 2020-07-09）。
- 坪山 良夫・清水 晃・久保田 多余子・阿部 俊夫・壁谷 直記・延廣 竜彦（2010）宝川森林理水試験地における積雪深変化への地形と植生の影響。日本森林学会大会発表データベース, E20. https://doi.org/10.11519/jfsc.121.0.192.0,（参照 2020-07-09）。
- 坪山 良夫・清水 晃・久保田 多余子・阿部 俊夫・壁谷 直紀・延廣 竜彦（2011）宝川森林理水試験地における積雪深変化への植生の影響 数値林冠高データの単木抽出結果を用いた解析。日本森林学会大会発表データベース, G17. https://doi.org/10.11519/jfsc.122.0.219.0,（参照 2020-07-09）。
- 山田 昌一（1943）宝川治水試験地に於ける地形に基づく受光係数、立木分布状態及び降水量と流出量との関係に於て（宝川森林治水試験地報告 其の一、其の二）。東京営林局, 259pp.
- 吉野 昭一・菊谷 昭雄（1985a）高海拔流域における森林伐採と暖候期間の流出量変化第 1 報 宝川試験地の本流流域について（宝川森林治水試験第 4 回報告）。林試研報, 331, 127-145.
- 吉野 昭一・菊谷 昭雄（1985b）高海拔流域における森林伐採と暖候期間の流出量変化第 2 報 宝川試験地の初沢流域、初沢 2 号沢および初沢 3 号沢流域について（宝川森林治水試験第 5 回報告）。林試研報, 333, 37-65.

Appendix 1. Table 1. 本流試験流域及び初沢試験流域の日降水量・日流出量

Daily precipitation and runoff of HONRYU and SHOZAWA experimental watersheds

単位 Unit: mm

2001年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.38	1.55		0.12	1.08		0.17	2.26		1.25	4.21		41.29	21.17		1.6	28.44
2		0.36	1.47		0.11	1.07		0.26	3.32		1.15	4.19		31.80	11.23		0.0	17.11
3		0.34	1.46		0.10	1.07		0.17	2.40		1.29	6.44		23.73	10.81		0.0	16.16
4		0.35	1.45		0.09	1.07		0.16	2.05		1.09	5.44		27.95	14.84		0.0	16.01
5		0.40	1.46		0.08	1.07		0.14	1.89		1.19	7.97		33.18	15.53		3.1	15.08
6		0.40	1.42		0.08	1.21		0.11	1.64		2.75	16.70		37.54	16.28		8.7	16.78
7		0.29	1.39		0.08	1.19		0.10	1.50		7.26	28.34		42.83	16.07		3.1	15.18
8		0.30	1.38		0.07	1.11		0.09	1.39		13.43	35.40		39.75	11.95		0.0	14.42
9		0.32	1.32		0.07	1.08		0.09	1.33		20.40	38.66		48.19	14.06		0.0	11.17
10		0.35	1.46		0.06	1.07		0.09	1.32		23.25	36.51		48.89	11.77		9.7	11.28
11		0.31	1.55		0.06	1.07		0.08	1.25		29.96	38.68		33.27	9.13		0.9	10.13
12		0.29	1.46		0.06	1.07		0.09	1.23		28.72	29.84		33.85	9.77		0.0	7.72
13		0.28	1.41		0.06	1.07		0.10	1.41		21.24	21.73		34.82	8.56		5.8	6.55
14		0.24	1.34		0.06	1.05		0.08	1.34		15.37	19.45		38.45	7.64		39.0	15.34
15		0.22	1.32		0.06	1.04		0.27	2.77		16.72	23.58		41.03	6.70		28.7	29.24
16		0.22	1.30		0.06	1.04		0.31	4.04		19.29	23.61		36.39	4.83		1.0	18.11
17		0.22	1.28		0.05	1.02		0.22	3.91		21.99	24.70		31.44	3.78		0.0	13.04
18		0.20	1.28		0.04	1.01		0.31	4.19		24.41	22.99		28.01	3.11		0.0	10.89
19		0.19	1.28		0.04	1.09		0.47	7.01		32.24	28.79		3.9	28.15		23.4	11.71
20		0.19	1.28		0.04	1.07		0.75	9.41		30.01	22.10		33.67	2.37		4.5	17.19
21		0.19	1.23		0.04	1.14		1.11	11.57		19.47	12.05		33.81	1.89		0.0	10.73
22		0.17	1.14		0.11	2.41		1.46	15.27		13.48	9.44		32.01	1.48		0.0	8.48
23		0.17	1.14		0.17	4.03		2.24	17.61		12.88	14.11		35.39	1.47		0.0	7.00
24		0.15	1.11		0.33	5.29		3.24	20.59		14.78	13.58		41.62	4.73		9.9	8.08
25		0.15	1.10		0.20	3.65		4.32	18.99		16.40	13.27		35.80	3.66		5.5	9.41
26		0.14	1.10		0.10	2.40		12.66	32.89		16.51	13.87		30.62	1.79		0.0	7.89
27		0.13	1.10		0.07	1.95		6.46	12.72		17.57	15.10		24.09	1.25		16.5	9.11
28		0.13	1.10		0.08	2.21		3.44	11.10		21.63	17.28		16.46	0.97		0.0	6.77
29		0.12	1.10					3.20	12.66		29.47	19.96		16.86	0.77		18.0	7.32
30		0.12	1.08					2.21	8.42		41.06	23.72		8.0	19.42		33.0	11.86
31		0.12	1.10					1.60	5.56					15.9	40.13		3.73	
合計 Total	-	7.43	40.19	-	2.49	44.63	-	45.99	223.02	-	516.26	591.72	73.9	1040.44	224.69	212.4	388.20	83.40

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 4月30日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

2001年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	0.0	11.41	8.65	0.0	0.73	0.96	0.0	9.31	6.63	9.4	2.58	2.02	0.0	1.43	0.96		2.69	5.64
2	0.0	8.01	3.64	0.0	0.52	0.48	0.0	5.73	3.79	11.1	6.17	3.06	0.0	1.24	0.79		1.87	4.10
3	0.0	5.89	2.11	0.0	0.45	0.28	5.1	4.07	2.86	0.5	2.15	1.59	25.3	2.66	1.06		1.89	3.64
4	0.0	4.99	1.43	122.9	58.09	33.58	5.1	3.55	2.85	0.5	1.39	0.90	5.4	6.44	7.70		1.82	4.13
5	0.0	3.81	1.10	0.0	12.23	6.31	0.6	2.14	2.19	6.4	1.45	0.99	7.4	4.22	3.29		1.54	2.88
6	7.5	6.13	1.13	3.4	5.92	2.37	0.0	1.68	1.73	0.5	1.14	0.84	17.9	15.48	8.16		1.51	2.49
7	0.0	3.36	1.12	7.3	5.16	2.29	5.1	1.61	1.59	0.0	0.89	0.65	0.5	7.46	7.29		1.36	2.56
8	0.0	2.39	0.74	0.0	3.13	1.35	0.0	1.36	1.59	0.0	0.71	0.55	0.0	5.26	3.75		1.22	2.08
9	0.0	2.04	0.55	0.5	2.30	0.94	1.7	1.37	1.29	0.5	0.56	0.50	0.0	3.75	2.68		0.96	2.06
10	0.0	1.82	0.40	91.4	39.77	12.14	41.7	17.40	7.79	35.2	4.50	4.90	2.0	3.11	2.14		0.83	1.68
11	0.0	1.57	0.33	5.9	20.37	-	47.3	43.01	31.13	0.0	1.52	4.32	0.0	2.19	1.62		0.97	1.64
12	0.0	1.41	0.27	2.9	10.62	-	0.5	24.76	14.48	0.0	1.12	1.78	3.7	2.00	1.36		0.94	1.46
13	19.3	4.88	0.37	0.0	6.41	-	1.0	10.13	5.31	0.0	1.46	1.08	2.6	1.99	1.53		0.93	1.51
14	0.0	1.60	0.43	1.1	4.19	-	4.4	6.34	3.58	0.0	1.22	0.84	0.0	1.57	1.32		1.04	2.56
15	5.0	1.13	0.31	17.8	6.90	-	0.0	4.86	3.07	0.5	0.94	0.60	0.0	1.38	1.15		0.93	2.14
16	0.0	0.97	0.52	0.0	3.81	-	5.9	3.35	2.33	0.0	0.80	0.52	0.5	1.20	1.03		1.34	1.96
17	4.6	1.05	0.31	0.0	2.92	-	2.6	3.11	1.97	9.6	1.32	0.65	10.5	1.25	1.11		0.73	1.75
18	4.6	1.50	0.34	0.0	2.12	-	0.0	2.04	1.54	0.0	1.16	0.90	0.5	1.33	1.77		0.63	1.79
19	17.2	2.93	2.06	0.0	1.49	-	0.0	1.68	1.28	0.0	0.68	0.60	0.0	1.06	1.51		0.60	1.64
20	0.0	0.92	0.65	0.0	1.00	-	0.0	1.43	1.13	0.0	0.55	0.49	0.0	0.93	1.33		0.56	1.58
21	16.7	3.16	0.67	9.6	0.97	1.17	3.3	1.37	1.06	0.0	0.46	0.43	0.0	0.94	1.10		0.50	1.47
22	0.0	2.33	2.04	93.2	54.57	44.81	0.0	1.18	0.98	24.4	0.92	0.46	0.0	0.97	0.91		0.48	1.46
23	0.0	1.11	0.61	0.0	17.28	12.11	0.0	0.88	0.86	12.7	6.60	8.26	0.0	1.06	0.82		0.46	1.36
24	0.0	0.92	0.36	10.7	7.89	4.69	0.0	0.74	0.77	0.0	1.61	2.45	0.0	0.94	0.72		0.43	1.31
25	0.0	0.77	0.24	10.2	9.55	10.92	0.0	0.60	0.72	0.5	1.36	1.48	0.0	0.86	0.65		0.40	1.39
26	0.0	0.68	0.14	12.2	4.82	4.35	0.0	0.50	0.65	0.0	1.10	1.18	3.6	1.09	0.72		0.39	1.35
27	2.0	0.65	0.10	22.4	7.07	9.22	0.0	0.46	0.61	0.0	0.94	0.96	(0.0)	0.90	0.73		0.37	1.32
28	0.0	0.54	0.08	4.1	7.25	8.15	13.9	1.60	1.11	8.5	1.46	1.04		0.82	0.71		0.34	1.25
29	0.0	0.45	0.06	17.8	5.38	5.34	0.0	0.48	0.72	6.0	6.29	2.26		0.75	0.80		0.31	1.24
30	43.7	2.25	2.99	39.7	22.07	21.01	11.9	0.48	0.59	0.0	2.37	2.13		5.56	7.06		0.30	1.28
31	3.4	2.21	5.22	5.6	19.40	24.57				0.0	1.84	1.26					0.29	1.30
合計 Total	124.0	82.87	38.96	478.7	344.38	(207.03)	150.1	157.22	106.19	126.3	57.25	49.67	(79.9)	79.84	65.75	-	28.62	64.02

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11月27日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2002年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.28	1.20		0.43	1.79		0.33	4.55		16.32	30.76		1.7	33.88		12.72	7.7
2		0.25	1.24		0.40	1.68		0.32	4.55		23.13	34.43		0.0	31.09		10.52	2.4
3		0.24	1.27		0.38	1.61		0.23	4.05		25.31	32.09		0.0	31.14		9.73	0.0
4		0.22	1.22		0.36	1.58		0.25	4.36		23.70	24.83		1.0	29.71		8.08	0.0
5		0.22	1.21		0.36	1.93		0.25	4.48		11.97	17.87		4.1	43.19		10.95	0.0
6		0.21	1.20		0.38	1.86		0.49	5.39		8.47	15.70		0.0	33.26		7.13	0.0
7		0.20	1.14		0.25	2.12		0.76	7.08		13.91	27.04		12.1	26.23		6.20	0.0
8		0.18	1.14		0.17	2.07		0.44	4.78		26.66	34.58		1.4	29.25		7.18	0.0
9		0.17	1.14		0.18	2.57		0.39	4.37		32.94	26.63		0.0	42.12		4.31	2.8
10		0.15	1.16		0.16	2.20		0.68	7.23		21.57	15.89		9.4	42.87		3.51	0.0
11		0.15	1.18		0.14	1.87		0.74	8.01		16.19	15.66		6.1	24.39		5.79	16.3
12		0.15	1.19		0.12	1.74		0.57	7.05		23.54	24.79		0.0	17.72		4.16	1.5
13		0.14	1.24		0.09	1.57		0.48	6.43		16.20	15.12		0.0	23.46		2.90	0.0
14		0.11	1.19		0.09	1.49		0.62	8.54		16.32	17.53		0.0	26.07		2.34	2.1
15		0.16	1.61		0.10	1.41		2.00	14.35	(0.0)	24.57	24.66		0.0	24.70		1.83	10.2
16		0.86	6.48		0.11	1.35		3.90	19.79	0	30.50	21.89		3.7	21.17		1.56	1.1
17		0.96	6.60		0.10	1.37		2.48	15.26	12.1	46.32	28.69		39.4	37.83		13.49	2.7
18		0.42	3.44		0.08	1.35		2.57	13.71	0	32.52	15.75		9.1	37.17		11.70	10.6
19		0.29	2.64		0.07	1.34		2.27	12.06	0	21.62	15.64		4.8	30.18		5.76	0.0
20		0.23	2.17		0.07	1.26		2.13	12.27	0	21.54	15.54		1.7	24.10		3.85	10.1
21		3.90	12.42		0.05	1.27		1.98	12.01	14.1	25.26	16.66		4.1	22.31		3.72	0.5
22		7.33	13.91		0.07	1.89		2.94	13.59	0	34.24	17.12		0	22.20		2.92	9.2
23		1.94	5.52		0.06	1.62		2.35	10.13	0	35.88	19.52		0.0	19.97		2.12	6.0
24		1.29	3.74		0.07	1.43		1.69	7.57	0	37.02	18.98		0.5	18.29		1.76	0.5
25		1.03	2.97		0.09	1.35		1.51	7.66	0	31.01	12.99		0.0	13.91		1.36	8.0
26		0.85	2.59		0.14	1.86		1.47	8.02	0	21.75	9.60		0.0	13.75		1.17	5.0
27		0.75	2.65		0.17	1.98		4.85	18.43	0	19.71	10.32		0.5	11.36		1.03	3.0
28		0.69	2.64		0.21	2.36		4.54	15.61	0.00	21.62	12.46		0.0	12.50		0.93	0.0
29		0.54	2.33					3.17	12.36	0.00	23.45	11.47		0.0	11.52		0.83	0.0
30		0.45	2.10					21.86	35.63	3.40	21.86	8.61		0.0	11.47		0.67	0.0
31		0.40	1.92					11.98	17.94					5.0	10.93		0.60	
合計 Total	-	24.76	92.44	-	4.90	47.92	-	80.23	327.23	(29.60)	725.07	592.83	104.6	777.72	150.82	99.7	191.78	-

-: 欠測、(): 不確定値

注) 露場: 4月15日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

2002年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	19.1	7.09	-	0.0	-	0.27	0.0	-	0.43	77.2	27.61	-		4.10	3.69		1.90	2.86
2	4.3	7.50	-	33.2	-	1.82	0.0	-	0.36	0.9	23.03	-		5.68	7.73		1.71	2.46
3	11.2	6.96	-	0.0	-	1.93	6.5	-	0.31	0.0	7.33	3.42		3.20	5.00		1.61	2.34
4	0.0	5.41	-	24.1	-	0.91	25.0	-	2.45	0.0	4.27	2.12		2.54	4.55		1.66	2.54
5	1.6	3.95	-	0.0	-	1.73	2.5	-	1.30	0.0	2.77	1.43		2.16	3.48		9.00	9.57
6	0.0	3.40	-	0.0	-	0.57	14.5	-	1.30	0.5	2.05	1.11		2.05	3.21		6.33	7.57
7	0.5	2.70	-	4.1	-	0.35	12.6	-	3.17	14.9	3.21	2.09		1.92	3.18		3.56	3.94
8	0.0	2.02	-	0.0	-	0.35	1.0	-	2.57	1.9	1.69	1.36		1.87	3.99		2.54	2.90
9	11.2	2.29	-	6.6	-	0.27	0.0	-	1.19	0.6	1.65	1.13		1.90	5.01		1.95	2.44
10	121.9	51.65	43.07	0.0	-	0.28	0.0	-	0.70	0.6	1.38	0.97		1.81	3.83		1.60	1.93
11	36.6	71.80	50.51	0.0	-	0.19	0.0	-	0.51	0.0	1.16	0.83		1.67	3.44		1.41	1.54
12	0.0	19.21	7.15	83.2	-	-	24.4	-	0.38	0.0	1.06	0.61		2.23	6.08		1.27	1.37
13	35.8	14.68	6.17	21.6	-	10.66	3.0	-	0.56	0.0	0.93	0.50		2.25	7.08		1.12	1.36
14	1.0	14.51	11.70	53.8	-	-	2.5	1.74	2.06	0.0	0.85	0.40		1.89	5.69		1.14	1.24
15	43.8	13.40	10.28	16.2	-	-	3.5	1.28	1.25	14.6	0.80	0.36		1.71	4.48		1.10	1.23
16	6.3	20.59	18.33	0.5	-	5.46	27.0	1.25	1.04	4.0	1.93	1.07		1.58	3.61		1.12	1.84
17	0.0	10.56	5.89	13.8	-	4.32	0.0	8.29	8.31	0.0	1.11	0.98		1.48	3.16		1.52	5.58
18	0.0	10.88	3.13	0.5	-	2.54	0.0	7.00	4.12	0.0	0.94	0.52		1.74	4.40		1.33	3.32
19	9.3	24.89	2.97	4.1	-	1.94	0.0	3.36	1.76	1.5	1.07	0.30		1.68	5.17		1.12	2.60
20	0.0	18.81	1.82	11.8	-	2.79	0.0	2.25	1.15	5.9	1.20	0.33		1.53	4.18		0.97	2.03
21	34.0	16.14	1.76	7.4	-	5.45	0.0	1.72	0.81	22.1	5.66	4.02		1.73	4.66		0.91	1.66
22	0.0	-	-	0.5	-	2.93	0.0	1.39	0.64	9.0	9.65	7.25		1.51	4.27		0.85	1.49
23	0.0	-	-	0.0	-	1.74	2.4	3.03	0.63	1.0	5.27	3.43		1.52	3.58		0.82	1.41
24	0.6	-	-	23.9	-	3.59	0.4	1.41	0.58	1.9	3.69	1.99		2.14	4.75		0.80	1.31
25	1.9	-	0.90	0.5	-	4.48	0.0	1.12	0.46	0.5	2.63	1.52		7.80	14.60		0.79	1.33
26	0.6	-	0.83	0.0	-	1.97	0.0	0.94	0.48	4.1	2.17	1.23		9.02	17.58		0.81	1.35
27	0.0	-	0.64	0.0	-	1.31	0.0	0.81	0.33	0.0	1.99	1.18		4.47	7.12		0.82	1.28
28	0.0	-	0.48	0.0	-	1.03	18.7	3.41	1.12	0.0	1.58	0.89		3.30	4.42		0.79	1.09
29	0.0	-	0.39	0.0	-	0.80	0.0	1.57	0.86	15.4	1.69	1.05		2.61	3.40		0.65	0.83
30	0.0	-	0.34	0.0	-	0.64	7.1	1.72	0.72	11.6	2.09	4.50		2.18	3.21		0.54	0.77
31	0.0	-	0.29	0.0	-	0.54				0.0	2.10	3.91					0.60	0.77
合計 Total	339.7	(328.44)	(166.64)	305.8	-	(60.84)	151.1	(42.28)	41.59	188.2	124.55	(50.50)	-	81.27	158.54	-	52.35	73.95

-: 欠測、(): 不確定値

注) 露場: 11月2日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

本流: 7月22日~9月13日にかけ量水施設の改修工事のため観測を中断

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2003 年	1 月 January			2 月 February			3 月 March			4 月 April			5 月 May			6 月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.58	0.78		0.25	0.52		0.34	1.17		7.27	27.72		0.0	29.09		4.1	35.17
2		0.57	1.01		0.26	0.49		1.09	4.45		4.54	14.21		0.0	24.08		18.11	0.0
3		0.52	0.97		0.27	0.48		0.55	2.42		5.25	18.36		0.0	32.31		22.13	0.0
4		0.51	0.80		0.24	0.47		0.46	1.87		5.39	15.25		0.0	36.38		18.92	0.0
5		0.49	0.78		0.21	0.44		0.35	1.55		4.83	11.83		0.0	36.95		20.04	0.0
6		0.44	0.83		0.20	0.48		0.32	1.30		3.31	8.94		0.0	40.82		21.26	0.0
7		0.48	0.76		0.20	0.47		0.39	1.43		2.66	8.32		0.0	40.92		15.98	2.1
8		0.44	0.74		0.22	0.68		0.57	3.01		5.76	19.78		1.8	39.50		14.50	0.0
9		0.42	0.69		0.25	0.87		0.39	1.98		11.15	27.18		0.0	28.97		9.46	0.0
10		0.41	0.69		0.28	1.22		0.32	1.56		5.82	13.94		0.0	20.41		7.93	0.0
11		0.41	0.66		0.30	1.85		0.30	1.37		4.64	12.78		5.1	17.80		7.59	0.0
12		0.39	0.64		0.30	1.92		0.29	1.23		6.54	20.09		2.5	21.93		8.61	(1.7)
13		0.38	0.63		0.26	1.35		0.28	1.15		14.19	30.02		0.6	28.07		10.51	(4.6)
14		0.37	0.72		0.24	1.32		0.28	1.10		12.26	21.43		0.0	31.56		9.01	(6.2)
15		0.33	0.98		0.26	1.12		0.28	1.16		12.27	20.78		7.7	30.97		7.45	(1.8)
16		0.27	0.81		0.27	1.12		0.29	1.18		12.20	23.80		5.0	34.22		8.12	(2.5)
17		0.22	0.76		0.27	0.98		0.35	1.54		17.55	31.15		0.0	27.37		6.46	9.3
18		0.22	0.74		0.28	0.89		0.31	1.60		27.43	38.92		0.0	26.23		5.84	2.2
19		0.22	0.70		0.29	0.90		0.31	1.87		27.84	29.56		0.0	24.28		4.71	0.0
20		0.24	0.65		0.35	1.20		0.30	1.66		34.47	32.96		13.7	28.44		6.01	0.0
21		0.24	0.68		0.36	1.28		0.32	1.63		34.49	27.95		0.0	28.63		5.21	0.8
22		0.22	0.65		0.30	1.11		0.39	2.18		21.90	17.53		0.0	24.12		3.59	0.0
23		0.22	0.63		0.30	0.95		0.42	2.22		13.50	13.08		0.0	23.06		3.09	0.0
24		0.26	0.66		0.26	0.87		0.92	5.88		14.96	17.69		0.0	24.63		2.52	3.7
25		0.28	0.62		0.27	0.80		1.81	10.35		26.21	21.90		0.0	24.39		1.92	23.2
26		0.25	0.55		0.30	0.78		2.21	11.86		37.25	27.62		0.0	18.72		1.46	15.8
27		0.23	0.54		0.33	1.14		2.79	13.92		35.87	24.40		1.3	15.16		1.30	3.1
28		0.31	0.64		0.30	0.99		2.89	11.58		30.23	22.47		0.0	18.36		1.19	23.2
29		0.26	0.66					1.53	5.37		33.76	24.21		0.0	24.49		1.01	5.8
30		0.24	0.59					1.30	5.03		39.13	23.08		0.0	23.42		0.85	0.0
31		0.24	0.52					2.46	9.57					28.0	32.04		2.59	
合計 Total	-	10.64	22.08	-	7.61	26.69	-	24.79	114.19	-	512.66	646.95	65.7	857.33	262.55	(110.1)	319.31	(30.55)

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 4 月 30 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置。6 月 12 日 ~16 日にかけてろ転倒ます式雨量計のろ水器にごみ詰まりあり。

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

2003 年	7 月 July			8 月 August			9 月 September			10 月 October			11 月 November			12 月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	13.2	7.08	1.63	0.0	1.87	0.84	5.3	3.03	2.53	0.0	3.63	1.28	0.0	1.49	0.46		9.61	5.76
2	0.5	6.19	2.99	0.0	1.61	0.65	1.7	2.18	1.33	2.8	3.16	0.89	0.0	1.36	0.33		6.17	3.60
3	10.1	5.01	1.21	0.0	1.36	0.49	7.6	3.36	1.08	10.5	4.94	1.69	4.3	1.25	0.31		4.51	2.56
4	5.1	6.71	2.16	14.2	2.41	0.52	0.0	2.46	1.08	2.2	3.87	1.68	4.3	3.43	0.55		3.48	2.20
5	0.5	5.96	1.56	40.7	10.59	8.60	0.0	1.82	0.66	2.2	3.67	1.39	0.5	1.43	0.50		2.53	1.79
6	0.0	4.20	0.78	2.0	2.84	1.87	0.0	1.69	0.44	0.0	2.76	0.97	10.5	2.26	1.21		3.14	1.54
7	16.2	6.31	2.10	3.0	2.28	1.18	0.9	1.53	0.33	0.0	2.23	0.73	0.0	1.49	0.91		3.92	2.67
8	0.5	4.64	2.16	2.0	1.83	0.86	3.6	1.38	0.21	0.0	1.84	0.58	0.0	1.38	0.60		2.55	1.84
9	3.1	3.90	1.28	63.2	22.43	22.06	1.1	1.10	0.15	0.0	1.51	0.43	3.2	1.43	0.50		2.14	1.96
10	3.6	3.52	1.22	5.1	19.06	15.25	0.0	0.98	0.09	0.0	1.29	0.29	12.8	1.59	0.52		2.02	1.91
11	34.5	9.77	5.55	4.0	8.23	4.54	5.1	1.26	-	0.0	1.15	0.22	12.2	4.98	5.06		1.74	1.89
12	0.5	10.21	9.23	4.5	6.56	3.37	3.7	0.91	-	12.3	1.67	0.62	1.0	3.34	3.17		2.71	5.42
13	4.6	6.99	3.10	0.0	4.52	2.12	0.5	1.29	0.34	8.6	3.19	0.69	1.5	2.69	1.91		1.90	4.04
14	13.7	8.65	5.59	38.9	9.25	7.44	11.2	3.15	1.04	16.2	2.92	1.11	0.5	2.21	1.42		1.66	3.12
15	0.0	6.01	2.99	13.5	15.68	16.44	0.0	1.43	0.36	2.2	3.97	3.60	0.0	2.15	1.08		1.52	2.45
16	0.0	4.48	1.46	0.5	9.09	5.60	0.0	1.06	0.10	2.2	2.16	1.19	2.0	2.13	0.87		1.54	2.29
17	7.9	3.58	1.09	30.1	12.88	11.73	0.0	0.92	-	1.6	2.69	1.10	26.9	2.44	2.75		1.38	1.91
18	4.8	2.85	0.90	17.6	15.43	14.18	0.0	0.83	-	0.0	1.79	0.74	0.0	2.13	2.69		1.17	1.75
19	4.6	3.80	1.38	4.2	11.63	9.25	0.9	0.73	-	1.7	1.84	0.64	0.0	2.38	2.85		1.19	1.60
20	30.6	7.06	8.12	0.0	7.79	5.02	16.7	1.75	-	0.0	1.40	0.63	11.8	3.87	2.96		1.15	1.67
21	8.8	10.36	9.80	1.0	5.91	3.13	42.6	11.22	9.18	0.0	1.28	0.55	11.2	20.22	8.42		1.14	1.72
22	1.0	7.58	4.80	0.0	4.29	2.18	8.8	10.60	8.38	27.0	5.64	5.01	4.7	9.77	5.48		1.15	1.44
23	21.4	6.47	4.21	0.0	3.27	1.49	0.0	4.85	1.97	15.0	2.93	3.07		5.53	3.90		0.96	1.40
24	2.6	10.33	10.52	1.0	2.60	1.12	22.1	4.56	1.84	7.3	4.51	9.43		3.99	3.02		0.88	1.37
25	25.7	10.35	7.92	11.0	2.09	0.94	9.7	9.57	9.50	0.0	3.50	3.45		28.75	20.16		0.85	1.71
26	0.0	9.55	9.24	19.3	2.23	1.43	8.7	8.77	7.89	0.0	3.85	1.64		16.33	10.69		0.80	2.43
27	0.0	5.94	3.75	8.4	2.51	2.32	0.0	5.24	3.05	0.0	2.93	1.05		8.06	4.36		0.72	1.97
28	0.0	4.24	2.10	1.0	1.74	1.32	0.0	3.68	1.55	1.7	2.56	0.73		5.10	2.92		0.72	1.67
29	0.0	3.22	1.44	0.0	1.61	1.05	6.0	4.30	1.12	0.0	2.25	0.51		6.07	2.50		0.70	1.60
30	4.7	2.99	1.37	11.7	3.84	1.01	7.6	7.36	2.84	1.7	2.18	0.48		22.75	17.30		0.71	1.71
31	0.0	2.15	1.04	4.4	2.71	1.75				0.0	1.71	0.56					0.66	1.62
合計 Total	218.2	190.09	112.69	301.3	200.13	149.75	163.8	103.06	(57.06)	115.2	85.01	46.95	(107.4)	172.00	109.40	-	65.32	70.61

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11 月 22 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2004年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.67	1.70		0.30	0.80		0.96	1.02		6.69	3.94	0.0	29.80	17.04	7.5	10.47	1.84
2		0.64	1.83		0.30	0.87		0.72	0.27		10.77	12.45	0.0	23.54	10.51	0.0	6.98	1.15
3		0.66	2.22		0.30	0.91		0.61	-		8.99	7.83	0.0	25.66	11.87	0.0	6.39	0.82
4		0.63	1.84		0.30	0.90		0.55	-		5.65	4.37	2.0	40.17	13.49	0.0	6.24	0.68
5		0.59	1.61		0.30	0.90		0.50	-		4.09	3.15	1.5	34.77	10.45	0.0	6.15	0.60
6		0.57	1.46		0.30	0.88		0.49	-		6.22	7.21	1.0	28.78	10.99	0.0	5.87	0.55
7		0.60	1.33		0.28	0.85		0.46	-		11.42	10.57	1.0	24.90	9.04	5.0	10.98	0.68
8		0.82	1.47		0.27	0.84		0.43	-		10.57	5.41	0.0	27.76	9.21	17.5	12.70	3.04
9		1.11	1.32		0.28	0.85		0.41	-		7.81	4.59	5.5	31.77	8.43	0.0	7.70	2.35
10		0.81	1.28		0.27	0.80		0.54	-	No data collected during winter 冬期間の観測中止	10.88	7.64	6.5	41.10	10.24	0.0	5.95	1.15
11		0.52	1.29		0.24	0.86		0.92	-		13.36	9.18	11.5	49.40	13.60	16.5	5.64	0.84
12		0.58	1.24		0.25	0.99		0.95	-		21.88	13.36	0.0	37.11	7.71	8.5	10.23	3.48
13		0.48	1.30		0.24	0.95		0.69	-		22.75	8.38	5.5	30.98	5.44	0.0	7.62	2.21
14		0.47	1.33		0.26	1.24		0.72	-		17.03	5.13	0.0	40.41	5.87	0.0	5.37	1.16
15		1.45	1.32		0.33	1.91		1.02	-		18.39	7.05	0.0	26.26	3.55	0.0	4.59	0.79
16		1.24	1.24		0.32	1.44		1.94	2.73		21.00	7.28	20.5	32.69	5.90	0.0	3.77	0.53
17		0.95	1.14		0.20	1.24		4.87	8.10		21.64	5.42	24.0	41.74	14.77	0.0	3.41	0.39
18		0.50	1.09		0.19	1.14		5.65	6.94		24.12	4.42	0.0	30.75	6.73	0.0	2.84	0.29
19		0.46	1.07		0.19	1.12		2.59	2.06		26.09	2.93	19.0	21.33	4.78	0.0	2.71	0.19
20		0.45	1.03		0.27	2.38		1.74	1.20		41.84	7.53	22.0	25.11	9.70	0.5	2.51	0.09
21		0.44	1.01		0.50	4.50		1.34	0.67		25.91	2.15	24.0	46.54	27.64	31.5	13.85	2.95
22		0.42	1.01		0.99	9.06		1.22	0.74		31.41	-	0.0	23.53	7.37	0.0	6.43	3.70
23		0.42	1.01		10.54	29.04		1.01	0.26		33.45	5.92	10.0	19.59	4.90	0.0	2.61	0.97
24		0.40	0.97		3.74	3.98		0.88	0.14		22.52	2.04	0.0	18.34	4.11	2.0	2.15	0.58
25		0.39	0.97		1.65	1.90		0.94	0.65		12.15	0.78	10.5	19.86	6.02	13.0	2.63	0.87
26		0.39	0.94		1.25	1.86		1.07	1.35	(0.0)	11.12	9.82	0.0	16.36	3.63	0.5	2.60	0.75
27		0.37	0.90		0.94	0.80		0.98	1.15	33.9	33.01	26.98		14.84	2.43	25.0	8.30	3.60
28		0.38	0.87		0.78	0.40		1.48	3.28	8.2	29.05	15.78	0.0	13.95	1.84	11.0	10.28	6.00
29		0.38	0.87		0.82	0.47		3.38	7.23	0.5	16.61	12.83	0.0	14.48	1.44	23.0	15.67	14.34
30		0.37	0.84					7.12	11.22	0.0	18.23	14.14	1.0	15.64	1.19	5.0	14.00	10.00
31		0.39	0.83					17.31	13.25				9.5	15.92	1.17			
合計 Total	-	18.55	38.33	-	26.60	73.88	-	63.49	(62.26)	(42.6)	544.65	(228.28)	175.0	863.08	251.06	166.5	206.64	66.59

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 4月26日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置。※5月以降、貯留式雨量計による雨量補正なし。

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

2004年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.0	7.94	4.00	0.0	2.03	-	0.5	4.05	1.43	0.0	16.21	2.27	3.5	3.46	2.92	1.38	0.70
2		0.0	5.21	1.76	0.5	1.69	1.26	0.0	8.29	7.93	0.0	7.67	-	0.5	2.84	2.06	1.50	0.99
3		0.0	3.90	1.01	0.0	1.41	1.03	0.0	4.84	3.87	21.5	7.07	-	17.5	3.74	3.70	1.27	0.81
4		-	3.10	0.67	0.0	1.21	0.92	0.0	8.80	5.76	8.5	6.81	-	1.0	3.24	3.19	1.14	0.69
5		-	2.64	0.48	0.5	1.30	0.88	0.5	10.14	8.98	44.5	15.62	-	0.0	2.49	2.24	24.03	10.22
6		-	2.23	0.31	0.0	1.02	0.79	0.5	7.03	2.97	4.0	18.05	3.84	0.0	2.08	1.58	7.47	5.29
7		-	1.94	0.41	1.0	0.92	0.71	0.5	3.89	-	0.0	9.65	-	0.0	1.88	1.20	4.35	2.58
8		-	1.84	0.29	0.5	0.75	0.65	0.0	2.65	-	24.0	7.23	-	0.0	1.72	0.98	3.24	2.52
9		-	2.08	0.46	1.0	0.81	0.56	0.0	2.07	-	50.0	28.15	26.96	0.0	1.54	0.81	2.47	2.06
10		-	7.80	1.56	0.0	0.83	0.62	0.0	1.71	-	2.5	17.11	11.20	0.0	1.37	0.65	2.81	2.19
11		-	11.33	3.76	0.0	0.60	0.43	0.0	1.43	0.55	0.0	9.89	4.18	0.0	1.17	0.57	2.73	2.41
12	(4.5)	7.66	2.16	0.5	0.53	0.34	0.0	1.15	0.36	0.0	6.31	2.19	16.5	1.37	0.66		2.18	1.38
13	1.5	8.27	4.58	0.0	0.50	0.22	0.5	0.89	0.19	0.0	4.84	1.31	6.0	4.39	4.02		2.41	1.60
14	0.5	4.47	1.02	2.0	0.78	0.13	2.0	4.21	1.21	4.5	3.58	0.92	0.5	2.42	1.60		2.04	1.08
15	1.0	3.10	0.18	0.0	1.16	0.62	0.5	1.23	0.62	13.5	8.96	3.80	18.0	4.72	2.88		1.74	0.65
16	0.5	10.62	4.66	0.5	0.60	-	0.0	0.97	0.19	0.0	4.65	1.90	2.5	5.09	6.37		2.16	1.82
17	0.5	16.18	9.99	0.5	0.54	-	0.0	0.90	0.10	0.0	3.46	1.04	0.0	3.87	2.86		2.07	2.19
18	0.5	36.90	23.41	0.0	0.48	-	0.5	0.82	0.10	0.0	2.51	0.66	9.0	3.19	1.95		1.78	1.31
19	0.5	9.83	3.61	0.5	0.40	-	0.0	0.77	0.09	8.5	2.09	0.54	11.5	7.42	5.62		1.89	1.88
20	0.5	5.69	1.42	0.0	1.04	-	23.9	1.28	0.90	93.5	30.43	16.71	2.0	4.73	3.59		1.88	1.77
21	0.0	6.02	2.14	0.0	0.61	-	0.0	0.91	1.24	12.0	46.85	-	6.5	3.77	2.36		1.98	2.24
22	0.5	5.57	3.31	0.5	0.55	-	7.0	1.30	0.38	0.0	13.17	-	0.5	3.42	2.18		1.62	1.19
23	0.5	3.49	-	0.0	1.55	-	3.5	1.17	0.36	4.5	8.99	-	0.0	2.63	1.45		1.45	0.80
24	0.0	2.51	-	0.5	1.54	-	9.0	3.39	0.48	0.0	5.67	-	1.5	2.22	1.14		1.47	0.64
25	0.5	5.10	-	0.0	3.69	1.30	9.0	3.95	1.04	0.0	3.96	-	(1.0)	2.18	1.13		1.25	0.51
26	0.5	3.00	-	0.5	1.18	0.39	16.5	3.27	2.86	13.5	3.99	2.53		1.73	0.94		1.13	0.44
27	0.0	2.15	-	0.0	0.95	0.11	2.5	3.15	2.14	2.5	3.77	4.17		1.81	0.94		1.10	0.36
28	0.5	8.37	-	0.5	1.42	-	0.5	2.18	1.01	0.0	3.34	2.89		1.68	0.97		1.06	0.32
29	0.0	5.04	-	0.0	1.14	-	15.0	5.72	1.35	0.0	2.46	1.85		1.49	0.84		0.89	0.22
30	0.5	3.54	-	0.0	1.11	-	53.0	44.76	18.80	21.0	3.96	2.19		1.41	0.73		0.91	0.20
31	0.5	2.54	-	0.0	14.71	6.14				2.0	6.37	6.71					0.82	0.10
合計 Total	(13.5)	200.06	(71.19)	9.5	47.05	(17.10)	145.4	136.92	(64.91)	330.5	312.82	(97.86)	(98.0)	85.07	62.13	-	84.22	51.16

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11月25日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2005 年	1 月 January			2 月 February			3 月 March			4 月 April			5 月 May			6 月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.74	0.09		0.27	-		0.39	-		2.23	-		48.10	27.86		0.0	28.37
2		0.85	0.05		0.41	-		0.38	-		2.43	-		60.48	30.88		0.0	23.54
3		0.94	-		0.41	-		0.40	-		4.30	-		46.27	22.35		0.5	26.93
4		0.64	-		0.40	-		0.34	-		5.29	2.03		43.57	24.44		11.0	26.25
5		0.72	-		0.40	-		0.41	-		3.91	-		45.47	23.72		4.0	28.95
6		0.66	-		0.41	-		0.40	-		8.37	12.64		39.30	15.09		0.0	23.51
7		0.56	-		0.38	-		0.72	-		14.87	31.04		47.21	21.92		0.0	20.55
8		0.62	-		0.36	-		0.83	-		22.73	38.85		49.47	19.10		0.0	19.01
9		0.56	-		0.36	-		0.96	0.29		16.02	24.93		51.11	18.71		0.0	20.24
10		0.60	-		0.33	-		0.96	0.43		17.73	29.66		41.09	12.48		7.0	19.55
11		0.56	-		0.37	-		0.93	1.21		24.48	29.61		28.48	10.37		7.0	18.59
12		0.78	-		0.37	-		0.79	0.90		20.30	19.42		25.34	9.73		0.5	18.59
13		1.34	-		0.34	-		1.07	0.29		15.67	14.12	(0.0)	31.83	12.82		0.0	13.98
14		0.58	-		0.38	-		0.99	-		15.23	19.56	0.0	34.11	12.53		0.0	14.77
15		0.51	-		0.37	-		0.94	-		20.20	29.60	11.5	42.48	15.81		1.5	13.23
16		0.41	-		0.32	-		0.97	-		19.09	20.30	1.0	34.73	9.79		2.5	10.24
17		0.46	-		0.35	-		1.04	-		18.71	21.75	0.0	28.08	11.23		12.5	10.07
18		0.55	-		0.37	-		1.40	0.44		22.42	27.94	1.0	28.87	8.74		3.0	9.79
19		0.49	-		0.33	-		1.44	-		25.21	28.38	1.0	40.97	10.59		6.5	11.55
20		0.44	-		0.54	-		1.21	-		27.34	26.40	0.0	38.83	8.52		0.0	10.30
21		0.54	-		0.42	-		1.29	-		34.96	31.42	0.0	38.11	8.09		0.0	9.39
22		0.51	-		0.37	-		1.43	0.43		29.65	26.10	5.5	36.57	6.58		0.0	8.51
23		0.45	-		0.31	-		2.81	2.32		21.31	19.67	3.5	44.32	7.61		0.0	6.55
24		0.40	-		0.34	-		3.44	1.68		19.84	23.37	8.5	39.15	7.02		0.0	6.87
25		0.38	-		0.33	-		2.38	-		26.81	31.10	1.5	36.77	5.86		0.0	6.56
26		0.38	-		0.40	-		1.83	-		28.72	23.68	0.0	33.45	4.29		0.0	6.14
27		0.41	-		0.39	-		1.82	-		30.38	26.97	2.5	32.69	3.29		1.5	5.30
28		0.43	-		0.37	-		2.30	-		39.67	34.94	0	33.83	2.70		87.0	60.66
29		0.37	-			-		4.90	1.15		49.78	34.41	0	32.79	2.10		0.0	21.74
30		0.37	-			-		3.30	-		47.87	28.96	0	29.03	1.62		23.5	18.90
31		0.31	-			-		2.40	-				6.5	27.64	1.77			
合計 Total	-	17.56	(0.14)	-	10.40	-	-	44.47	(9.14)	-	635.52	(656.85)	(42.5)	1190.14	377.61	168.0	518.63	65.79

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 5 月 13 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

初沢: 欠測は沈砂槽からの漏水のため

2005 年	7 月 July			8 月 August			9 月 September			10 月 October			11 月 November			12 月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	6.0	13.61	7.18	0.0	6.60	-	0.0	2.02	-	0.0	0.87	-	0.0	0.85	-		2.22	-
2	6.5	12.16	5.39	0.0	4.67	-	0.0	1.62	-	0.0	0.93	-	0.0	0.73	-		1.97	-
3	1.5	8.07	2.83	1.0	3.85	-	17.5	2.60	-	0.0	1.00	-	2.0	0.66	-		1.77	-
4	48.5	25.98	16.45	29.0	4.09	-	75.0	17.00	-	4.5	0.94	-	0.0	0.57	-		1.63	-
5	1.5	26.03	15.74	0.0	3.03	-	53.0	72.25	-	3.5	2.76	-	0.0	0.51	-		1.44	-
6	8.0	16.26	7.13	0.0	2.19	-	6.0	26.54	-	0.0	1.10	-	26.0	2.88	-		1.51	-
7	7.5	13.19	6.41	2.5	1.90	-	0.5	11.73	-	1.5	0.89	-	23.5	6.57	-		1.49	1.20
8	7.5	9.88	5.64	0.0	1.74	-	0.0	9.17	-	2.0	1.37	-	1.0	7.31	-		1.36	1.06
9	10.5	8.81	4.10	2.5	1.49	-	1.0	6.31	-	2.0	1.54	-	2.0	2.99	-		1.32	1.05
10	0.0	10.12	5.45	8.5	1.81	-	11.5	14.05	-	0.0	1.34	-	1.0	2.39	-		1.29	1.11
11	18.0	6.52	2.76	7.0	1.29	-	16.5	14.50	-	0.5	1.21	-	2.0	1.71	-		1.27	1.10
12	26.0	19.79	17.50	39.0	11.96	-	0.0	9.25	-	0.0	1.01	-	20.5	5.02	-		1.25	1.01
13	7.5	9.94	6.25	74.5	49.21	-	0.0	5.82	-	0.0	0.88	-	0.0	3.26	-		1.71	1.07
14	2.0	8.31	4.89	15.0	15.00	-	9.5	6.14	-	0.0	0.73	-	0.5	2.73	-		2.20	1.05
15	32.5	8.73	5.92	48.0	26.76	-	0.0	9.75	-	16.0	0.77	-	0.0	2.00	-		1.64	0.94
16	2.0	7.89	6.90	0.5	20.17	-	0.0	4.92	-	4.0	2.51	-	2.0	1.89	-		1.09	0.92
17	0.0	5.33	3.40	0.5	8.76	-	0.0	3.53	-	0.0	1.02	-		1.76	-		1.00	0.91
18	0.5	4.35	2.04	0.0	5.22	-	0.0	2.53	-	0.0	0.97	-		1.59	-		0.92	1.00
19	6.5	4.16	1.76	3.0	4.70	-	0.0	2.19	-	0.0	0.87	-		1.61	-		0.84	0.98
20	0.0	2.90	1.23	2.5	2.95	-	0.0	1.64	-	0.0	0.78	-		1.63	-		0.76	0.86
21	0.0	2.25	-	0.5	2.33	-	7.5	1.68	-	0.0	0.61	-		1.44	-		0.69	0.77
22	0.0	2.24	-	0.5	1.73	-	2.0	2.37	-	4.5	0.59	-		1.36	-		0.67	0.81
23	0.0	1.84	-	16.0	4.95	-	0.0	1.50	-	17.5	5.41	-		1.38	-		0.69	0.78
24	2.5	1.62	-	16.0	6.42	-	2.5	1.42	-	3.0	6.60	-		1.34	-		0.72	0.79
25	14.0	2.93	-	1.0	3.84	-	3.5	2.61	-	0.0	2.37	-		1.40	-		0.72	0.72
26	33.0	13.40	-	3.0	6.85	-	0.0	1.97	-	0.0	1.78	-		1.50	-		0.69	0.73
27	32.0	68.64	-	0.0	5.12	-	0.0	1.59	-	0.0	1.43	-		1.74	-		0.72	0.77
28	0.0	15.65	-	3.0	3.95	-	0.0	1.35	-	0.0	1.18	-		2.10	-		1.21	0.72
29	0.0	8.35	-	0.0	3.09	-	0.0	1.19	-	0.5	0.95	-		2.24	-		0.82	0.67
30	1.5	9.68	-	17.5	2.35	-	0.0	1.08	-	0.0	1.10	-		2.06	-		0.59	0.67
31	49.5	13.92	-	4.5	4.79	-			-	0.5	0.93	-			-		0.63	0.67
合計 Total	325.0	362.55	(128.97)	295.5	222.81	-	206.0	240.32	-	60.0	46.44	-	(80.5)	65.22	-	-	36.83	(22.37)

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11 月 17 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 7 月 21 日 ~ 12 月 6 日まで量水施設の改修工事のため観測を中断

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2006年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.78	0.67		0.80	1.01		1.11	4.09		1.81	3.62		51.17	45.90	0.0	37.32	-
2		0.77	0.67		0.78	0.98		1.47	5.97		1.97	5.17		67.94	50.34	0.0	37.58	-
3		0.93	0.74		0.74	1.00		1.13	4.37		5.23	13.08		39.38	26.81	0.0	37.31	-
4		0.91	0.75		0.74	0.99		0.97	3.68		3.54	8.65		32.44	27.79	0.0	32.40	-
5		0.90	0.76		0.69	0.98		0.93	4.19		4.61	12.05		37.98	32.24	0.0	31.02	-
6		0.76	0.73		0.68	0.96		0.96	4.79		4.46	11.14		46.72	32.49	0.0	30.98	-
7		0.74	0.71		0.68	0.96		1.08	3.74		3.16	8.65		55.01	35.09	0.0	29.81	-
8		0.71	0.75		0.68	0.98		0.97	3.67		2.99	9.14		62.35	41.10	0.0	24.09	-
9		0.72	0.71		0.65	0.98		0.78	4.90		2.48	6.39		66.36	40.48	36.5	51.30	-
10		0.73	0.71		0.62	0.98		0.85	5.51		2.10	5.04		65.44	36.92	0.5	36.42	-
11		0.68	0.72		0.62	0.98		0.96	6.25		2.22	6.19		71.87	33.73	1.0	25.88	-
12		0.68	0.72		0.60	1.00		1.47	9.32		21.34	40.33		49.00	23.41	0.5	25.70	-
13		0.67	0.71		0.60	1.02		1.23	6.27		23.93	30.18		34.72	16.53	1.5	24.10	-
14		0.72	0.79		0.59	1.16		0.96	4.05		22.95	25.68		36.05	19.53	0.0	24.23	-
15		1.53	2.62		0.84	2.82		0.85	3.30		17.61	21.15		35.56	20.24	18.5	34.29	-
16		0.96	1.69		2.09	9.02		0.92	4.31		15.31	20.84		35.57	18.17	16.0	48.86	-
17		0.88	1.47		1.57	6.14		4.52	23.66		14.02	15.87		31.96	15.81	2.0	30.48	-
18		0.80	1.28		1.03	3.32		2.28	8.86		12.23	17.84		40.37	22.73	7.0	25.42	-
19		0.77	1.18		0.84	2.55		1.67	5.69		15.51	22.14		48.61	20.08	0.0	21.74	-
20		0.77	1.12		0.75	2.49		1.35	4.37		40.28	45.84		78.31	35.03	0.0	17.24	-
21		0.77	1.05		0.72	2.14		1.16	3.60		26.06	17.62		62.70	25.36	1.0	15.75	-
22		0.78	1.02		0.73	2.87		1.12	3.72		14.80	10.49		51.56	23.24	0.5	14.30	-
23		0.78	1.04		0.84	5.07		1.21	4.61		12.52	14.91		52.11	20.17	0.0	14.96	-
24		0.77	1.00		0.79	4.78		1.51	7.75		18.63	27.48		56.80	22.23	0.0	15.85	-
25		0.77	0.98		0.74	3.97		1.47	8.12		17.26	16.95		45.02	15.70	0.0	12.30	-
26		0.77	0.98		1.26	8.08		1.78	9.37		12.83	13.04	(0.0)	35.13	11.84	0.0	11.01	-
27		0.75	0.98		2.09	10.31		2.27	11.63		12.77	16.06	0.0	37.58	12.21	0.0	13.34	-
28		0.73	0.98		1.19	4.81		4.43	18.76		17.26	25.48	6.0	67.27	17.26	3.5	13.32	-
29		0.71	0.94					5.60	14.77		22.63	26.96	0.0	42.41	11.31	4.0	13.16	-
30		0.74	0.97					3.00	6.63		30.30	32.34	0.5	37.37	10.55	0.0	10.56	-
31		0.77	0.98					2.14	4.56				0.0	39.59	10.51			-
合計 Total	-	24.75	30.43	-	24.95	82.35	-	52.15	214.50	-	402.81	530.29	(6.5)	1514.35	774.79	92.5	760.70	-

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 5月26日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置。

初沢: 6月1日~11月30日まで量水施設の改修工事にともなう欠測(7月28日~10月30日まで観測を中断)

2006年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		22.0	16.80	-	1.5	1.89	-	0.5	0.16	-	6.0	0.82	-	0.0	1.19	-	4.54	2.75
2		14.0	13.67	-	0.0	1.72	-	0.0	0.09	-	19.0	4.15	-	0.0	1.13	-	3.59	2.26
3		1.0	11.38	-	0.0	1.56	-	0.0	0.07	-	0.5	2.70	-	0.0	1.06	-	3.15	2.03
4		0.5	9.57	-	0.0	1.30	-	0.0	0.06	-	0.0	1.60	-	0.0	0.96	-	2.61	1.79
5		7.0	13.02	-	0.0	1.05	-	0.0	0.09	-	1.0	1.36	-	0.0	0.88	-	2.21	1.87
6		0.0	11.56	-	0.0	0.94	-	49.5	8.69	-	34.0	9.30	-	0.0	0.81	-	2.02	2.03
7		0.0	9.05	-	0.5	0.86	-	33.5	13.50	-	31.0	29.57	-	2.5	0.77	-	1.80	1.67
8		0.0	7.60	-	0.0	0.83	-	0.5	7.43	-	105.0	94.10	-	0.0	0.66	-	2.06	2.57
9		9.5	7.35	-	0.0	0.80	-	0.5	2.01	-	0.5	33.87	-	0.0	0.59	-	1.80	2.48
10		17.0	15.19	-	0.0	0.82	-	0.0	1.61	-	0.0	13.77	-	0.0	0.57	-	1.71	2.56
11		2.5	9.01	-	0.0	0.67	-	10.5	2.17	-	2.0	7.77	-	12.5	1.33	-	1.58	2.12
12		6.0	9.10	-	1.0	0.47	-	33.5	13.08	-	0.5	4.67	-	12.5	2.60	-	1.40	1.67
13		11.5	12.21	-	0.0	0.33	-	28.5	15.30	-	0.0	3.24	-	21.5	1.57	-	1.38	1.42
14		10.5	10.78	-	0.0	0.29	-	25.0	22.61	-	0.0	2.44	-	1.5	2.17	-	1.53	1.67
15		29.0	22.65	-	0.0	0.29	-	0.5	10.93	-	0.0	1.97	-	5.5	4.07	-	2.03	3.70
16		11.5	19.81	-	0.0	0.27	-	0.5	6.42	-	0.0	1.68	-	1.0	2.24	-	1.82	3.04
17		35.5	27.34	-	12.5	0.42	-	1.5	4.26	-	0.0	1.43	-	(0.0)	1.82	-	1.65	2.28
18		44.5	34.18	-	1.0	0.49	-	6.0	6.30	-	0.0	1.25	-		1.56	-	1.46	1.91
19		57.5	62.58	-	0.0	0.22	-	0.0	3.77	-	0.0	1.12	-		2.05	-	1.43	1.49
20		2.0	24.04	-	0.0	0.19	-	0.0	2.81	-	0.5	1.07	-		12.24	-	1.32	1.50
21		33.0	30.70	-	4.0	0.21	-	0.0	2.17	-	0.5	1.05	-		10.11	-	1.26	1.52
22		0.0	18.12	-	1.0	0.41	-	0.0	1.71	-	1.0	0.84	-		5.83	-	1.17	1.34
23		0.0	11.56	-	0.0	0.20	-	0.0	1.42	-	16.0	1.33	-		4.21	-	1.13	1.29
24		16.5	10.73	-	0.0	0.12	-	0.0	1.24	-	41.0	15.24	-		2.96	-	1.04	1.21
25		6.5	10.44	-	0.0	0.10	-	0.0	1.10	-	0.0	5.21	-		2.26	-	1.02	1.05
26		0.0	7.17	-	0.0	0.10	-	3.0	1.03	-	0.0	3.47	-		1.98	-	1.82	1.91
27		4.0	5.88	-	0.0	0.11	-	6.5	1.31	-	4.0	2.81	-		15.14	-	35.46	35.00
28		0.0	3.66	-	2.0	0.11	-	2.0	2.13	-	0.0	2.10	-		13.52	-	12.43	12.00
29		3.5	3.80	-	5.5	0.17	-	0.0	1.05	-	0.0	1.68	-		8.02	-	6.15	4.15
30		0.0	2.90	-	1.0	0.40	-	0.0	0.85	-	0.0	1.50	-		5.27	-	4.32	2.61
31		0.0	2.09	-	0.0	0.12	-			-	0.0	1.33	-			-	3.21	1.88
合計 Total	345.0	453.91	-	30.0	17.46	-	202.0	135.39	-	262.5	254.45	-	(57.0)	109.57	-	-	110.10	106.75

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11月17日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 6月1日~11月30日まで量水施設の改修工事にともなう欠測(7月28日~10月30日まで観測を中断)

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2007 年	1 月 January			2 月 February			3 月 March			4 月 April			5 月 May			6 月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		2.48	1.54		0.61	2.03		0.78	1.92		11.29	11.54		1.0	19.53		0.0	23.08
2		2.10	1.24		0.55	1.29		0.74	2.13		12.09	8.47		5.0	32.20		0.0	17.35
3		1.79	1.11		0.51	1.03		0.88	2.85		7.90	4.37		0.0	32.81		0.0	14.62
4		1.57	0.90		0.54	0.97		2.43	7.73		5.15	2.84		0.0	31.17		0.0	13.11
5		1.43	0.90		1.32	0.84		7.77	14.70		3.71	1.69		0.0	35.41		0.0	11.40
6		1.54	1.33		0.69	1.65		7.95	8.88		3.01	1.26		9.0	38.35		9.0	11.78
7		1.30	1.42		0.68	2.10		3.52	3.83		4.53	3.33		1.0	42.77		8.0	10.54
8		1.34	0.99		0.60	1.57		2.32	2.45		7.16	5.25		0.0	32.09		28.5	16.63
9		1.18	0.83		0.62	1.84		1.94	2.23		8.01	5.18		0.0	34.83		21.0	22.21
10		1.07	0.79		0.68	2.99		1.79	2.22		8.37	5.12		31.0	40.17		6.5	24.11
11		1.00	0.72		0.67	2.86		1.63	1.94		7.42	3.18		19.0	44.71		17.50	0.0
12		0.92	0.70		0.58	1.56		1.37	1.40		8.01	4.16		0.0	22.38		2.53	0.0
13		0.87	0.65		0.57	1.43		1.20	1.12		11.11	5.80		0.0	21.82		1.10	0.0
14		0.83	0.58		0.88	2.70		1.15	0.95		20.52	8.89		0.0	23.10		0.92	7.0
15		0.79	0.58		2.03	5.50		1.05	0.83		18.80	7.10		12.0	23.60		1.57	1.0
16		0.75	0.59		1.04	2.25		0.95	0.81		16.89	5.16		0.0	24.89		1.08	0.0
17		0.71	0.66		0.92	1.45		0.89	0.80		12.12	4.10		12.0	29.71		1.02	0.0
18		0.68	0.54		0.73	1.32		0.85	0.72		8.69	2.63		0.0	27.27		1.30	0.0
19		0.66	0.47		0.65	1.17		0.79	0.68		3.5	6.40		2.07	8.0		25.31	1.74
20		0.60	0.40		0.60	1.03		0.71	0.62		7.66	4.71		12.5	33.59		6.60	15.0
21		0.57	0.42		0.61	1.46		0.76	0.66		0.0	10.54		4.44	0.0		27.94	3.35
22		0.57	0.58		0.71	2.56		0.78	1.02		0.0	19.64		6.84	0.0		26.13	2.21
23		0.56	0.60		0.89	3.47		0.96	2.26		2.0	27.24		5.68	0.0		25.83	1.68
24		0.52	0.55		0.82	2.81		0.98	2.28		0.5	16.66		2.19	0.0		25.14	1.32
25		0.54	0.53		0.86	1.81		3.24	6.51		9.0	18.12		4.15	29.5		31.51	4.77
26		0.55	0.56		0.80	2.02		3.62	5.71		11.0	20.85		5.27	0.0		33.17	5.85
27		0.55	0.94		0.94	3.01		2.26	3.92		1.0	15.09		3.42	0.0		18.64	2.44
28		0.52	1.21		1.02	2.95		4.24	9.60		6.5	12.63		3.90	0.0		18.29	1.75
29		0.57	1.32					3.90	6.99		0.0	13.50		4.43	0.0		17.39	1.36
30		0.61	1.76					6.96	12.40		0.0	18.44		4.89	20.5		16.08	1.46
31		0.65	2.29					4.39	5.77					20.5	33.88		13.12	
合計 Total	-	29.82	27.71	-	22.12	57.69	-	72.80	115.93	(34.0)	361.55	142.06	181.0	889.71	119.91	233.5	380.74	121.60

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 4 月 18 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

2007 年	7 月 July			8 月 August			9 月 September			10 月 October			11 月 November			12 月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	0.0	11.52	4.66	0.0	1.83	1.12	0.5	6.96	3.22	0.5	1.71	0.96	1.0	3.39	0.56		1.66	3.22
2	9.0	9.50	3.47	0.0	1.65	0.78	0.5	4.64	1.56	1.0	1.14	0.48	0.0	3.13	0.45		1.73	3.38
3	0.0	7.46	3.08	0.0	1.55	0.69	0.0	3.26	1.02	0.0	0.96	0.31	0.0	2.35	0.46		1.70	3.11
4	15.5	7.97	3.11	5.5	1.48	0.64	0.0	2.50	0.66	19.0	0.90	0.21	0.0	2.04	0.25		1.58	2.83
5	5.5	14.72	6.96	0.0	1.61	0.63	2.5	2.27	0.54	12.0	5.03	2.39	0.0	1.79	0.27		1.47	2.40
6	0.0	8.62	3.30	1.0	1.27	0.51	6.0	2.02	0.53	0.0	1.53	0.61	0.5	1.68	0.24		1.43	2.14
7	0.0	6.19	1.80	12.5	3.33	0.53	43.5	20.11	12.87	0.0	1.31	0.30	0.0	1.52	0.23		1.26	2.11
8	0.0	4.57	1.44	6.5	4.26	1.54	0.0	6.74	3.82	9.0	2.55	0.43	0.0	1.35	0.23		1.24	2.37
9	0.0	3.62	1.38	0.0	1.96	1.19	13.0	4.24	1.76	0.5	1.91	0.53	0.0	1.26	0.21		1.30	3.64
10	15.5	4.24	1.85	0.0	1.48	0.46	8.5	6.84	2.54	0.0	1.38	0.27	5.0	1.45	0.22		1.21	2.80
11	9.5	7.69	4.26	0.0	1.29	0.24	6.5	4.31	2.39	0.0	1.19	0.16	5.0	2.53	-		1.06	2.43
12	0.5	4.32	2.16	0.0	1.16	0.14	48.5	32.82	24.95	0.0	1.10	0.16	19.0	2.86	-		2.10	6.21
13	0.5	3.57	1.36	0.0	1.06	0.07	0.0	9.89	5.48	0.0	0.96	0.11	12.5	22.68	-		2.30	7.92
14	22.5	6.87	2.73	0.0	0.94	0.06	0.0	5.99	2.68	0.0	0.88	0.11		9.46	-		2.03	6.37
15	9.0	10.54	7.05	0.0	0.84	0.10	0.0	4.13	1.83	0.0	0.84	0.11		6.71	-		1.62	3.85
16	3.5	7.13	3.76	0.0	0.74	0.11	0.0	3.07	1.41	2.0	0.88	0.14		5.29	4.07		1.31	2.88
17	1.5	5.71	2.71	6.5	0.93	0.20	0.0	2.37	1.14	0.0	0.82	0.15		3.80	2.68		1.29	2.26
18	0.0	4.42	2.14	9.5	2.26	0.54	0.0	2.08	0.98	0.0	0.73	0.09		3.32	2.24		1.16	1.94
19	0.0	3.47	1.51	0.0	0.97	0.35	1.0	1.96	0.91	14.5	1.94	0.11		3.10	2.17		1.05	1.72
20	4.5	3.34	1.42	14.5	1.29	0.15	0.0	1.60	0.78	0.0	1.61	0.99		2.93	2.61		1.00	1.45
21	10.0	5.45	3.89	5.0	1.89	0.65	0.0	1.41	0.65	0.0	0.93	0.65		2.95	3.29		1.00	1.38
22	1.5	3.34	2.33	27.0	4.75	1.27	0.0	1.25	0.55	0.0	0.80	0.32		2.05	2.96		0.90	1.26
23	6.5	3.43	2.27	14.0	11.07	7.84	0.0	1.18	0.50	2.0	0.99	0.23		2.27	2.73		0.99	1.49
24	0.0	2.60	1.72	0.0	2.87	1.23	2.0	1.26	0.44	0.5	0.76	0.29		2.00	2.81		1.07	2.34
25	1.0	2.18	1.21	0.0	1.94	0.65	2.0	1.24	0.39	0.0	0.71	0.10		2.32	5.33		0.98	1.84
26	5.5	3.41	1.54	0.0	1.58	0.33	0.0	1.07	0.36	27.5	7.17	2.84		2.34	5.86		0.85	1.55
27	0.0	2.07	1.19	0.0	1.39	0.16	0.0	0.99	0.31	56.0	28.15	18.51		3.02	7.24		0.84	1.46
28	0.5	1.84	1.01	0.0	1.42	0.23	0.0	1.04	0.28	7.0	20.69	10.01		2.19	5.13		0.88	1.66
29	0.0	1.71	0.86	6.0	1.37	0.22	0.0	1.04	0.32	0.0	7.98	1.49		1.93	3.88		4.23	11.09
30	26.5	2.53	1.20	37.0	11.27	9.49	20.0	2.26	0.58	6.5	6.05	0.88		1.81	3.15		2.54	6.35
31	1.0	3.82	3.36	10.5	11.03	6.76				0.0	4.50	1.22					1.58	3.42
合計 Total	149.5	167.85	80.73	155.5	82.48	38.88	154.5	140.54	75.45	158.0	108.10	45.16	(43.0)	105.52	(59.27)	-	45.36	98.86

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11 月 14 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 量水堰堤から測定井への導水部に落葉が詰まったことにより欠測

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2008 年		1 月 January			2 月 February			3 月 March			4 月 April			5 月 May			6 月 June					
		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff				
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed				
1	No data collected during winter 冬期間の観測中止		1.25	2.51	No data collected during winter 冬期間の観測中止		0.36	1.14		0.18	1.27		1.92	5.38	No data collected during winter 冬期間の観測中止		40.95	18.40		0.5	25.59	6.32
2			1.26	2.11			0.33	1.14		0.16	1.25		1.59	4.10			43.73	17.42		0.0	18.76	3.67
3			1.11	1.72			0.32	1.14		0.16	1.32		1.66	6.51			54.45	20.11		5.5	19.06	3.12
4			0.97	1.57			0.32	1.14		0.14	1.55		2.43	11.31			56.89	20.05		0.0	16.29	2.58
5			0.95	1.38			0.32	1.14		0.15	1.52		3.52	13.47			51.13	12.98		19.0	19.27	3.10
6			0.87	1.47			0.32	1.13		0.16	1.38		4.59	14.81			46.13	13.14		10.0	36.32	12.77
7			0.87	1.86			0.31	1.10		0.16	1.29		5.61	14.48			36.46	11.12		8.0	21.17	5.11
8			0.80	1.59			0.30	1.11		0.16	1.34		10.34	22.17			33.52	8.53		0.0	15.73	4.27
9			0.78	1.71			0.30	1.07		0.16	1.38		12.11	22.52			31.72	8.31		2.5	15.12	2.94
10			0.73	1.75			0.29	1.10		0.22	2.06		14.65	23.78			24.71	5.01		0.0	14.15	2.21
11			0.69	1.66			0.28	1.12		0.26	2.55		21.81	25.82			18.50	5.81		0.0	12.20	1.78
12			0.76	2.14			0.28	1.20		0.52	6.47		22.71	18.42			16.73	4.99		1.5	9.87	1.58
13			0.50	2.03			0.25	1.20		0.75	7.11		16.41	12.62			17.29	4.75		0.0	8.34	1.39
14			0.75	1.68			0.20	1.14		0.85	7.27		16.22	17.98			21.15	6.29		0.0	7.43	1.23
15			0.61	1.53			0.22	1.12		2.12	17.02		19.83	21.46			24.40	5.61		0.0	7.22	1.01
16			0.57	1.53			0.17	1.06		2.59	18.28		19.74	18.32			24.43	4.74		0.0	7.88	0.88
17			0.61	1.39			0.19	1.07		3.36	18.91		20.99	19.83			30.96	5.76		0.0	7.06	0.78
18			0.50	1.30			0.10	1.03		3.95	20.49		37.85	32.82			27.55	4.02		0.0	6.34	0.73
19			0.49	1.30			0.17	1.01		4.30	18.01		33.92	23.87			32.98	3.45		0.0	5.40	0.69
20			0.46	1.27			0.20	1.03		4.08	15.65		31.27	20.05			82.75	33.93		3.0	5.83	0.64
21		0.46	1.20		0.22	1.05		3.28	14.17		32.60	23.38	(0.0)	37.38	7.66		8.5	6.40	0.85			
22		0.44	1.14		0.20	1.07		3.38	16.11		35.88	23.32		31.28	4.46		34.0	16.61	5.53			
23		0.41	1.14		0.22	1.40		3.74	15.05		38.03	23.24		31.43	3.36		15.0	32.00	26.72			
24		0.44	1.17		0.35	1.31		3.93	13.70		48.28	23.04		7.0	28.54		2.85	2.5	16.91	7.59		
25		0.92	1.20		0.24	1.14		4.24	16.19		35.56	14.10		22.0	52.16		9.86	0.0	10.63	3.72		
26		0.34	1.14		0.26	1.10		6.64	20.15		22.56	10.29		0.5	40.74		4.50	0.0	7.55	2.34		
27		0.46	1.11		0.38	1.13		5.86	13.21		24.69	18.46		0.0	28.99		3.02	0.0	6.76	1.97		
28		0.29	1.09		2.47	1.14		4.53	12.16		24.76	14.77		1.5	22.05		2.34	0.0	5.65	1.55		
29		0.23	1.08		0.52	1.21		4.04	10.56		25.80	17.35		27.5	38.38		9.73	51.5	23.08	16.40		
30		0.35	1.14					2.74	7.16		33.09	19.11		2.5	25.15		5.31	2.0	16.26	8.25		
31		0.36	1.14					2.38	7.23					20.0	32.74		11.21					
合計 Total	-	20.22	46.05	-	10.08	32.74	-	69.17	291.82	-	620.39	536.79	(81.0)	1085.29	278.73	163.5	420.85	131.72				

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 5 月 21 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

2008 年	7 月 July			8 月 August			9 月 September			10 月 October			11 月 November			12 月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	0.0	9.49	3.62	0.0	2.10	1.87	0.0	6.50	3.63	1.5	1.70	0.95	14.5	2.54	2.13		1.86	3.34
2	0.0	6.59	2.22	0.0	1.79	1.57	0.0	4.76	2.55	0.0	1.42	0.75	0.5	1.78	1.22		1.57	2.86
3	0.0	4.97	1.64	0.0	1.51	1.33	0.0	3.80	1.93	0.0	1.22	0.63	0.0	1.29	0.68		1.56	2.68
4	1.0	4.51	1.37	0.0	1.58	1.48	0.0	3.08	1.57	0.0	1.07	0.58	7.5	3.16	1.63		1.71	2.78
5	0.0	3.82	1.15	1.0	8.96	13.30	0.0	2.42	1.45	7.5	0.98	0.52	0	1.95	1.12		3.13	4.81
6	3.0	3.19	1.01	4.0	5.50	10.57	17.5	2.66	1.58	17.5	4.88	2.90	0	1.49	0.75		2.51	4.28
7	39.5	15.29	11.67	0.0	2.72	3.40	0.0	2.51	1.84	0.5	1.83	1.33	0.0	1.52	0.61		1.75	2.84
8	7.5	8.12	5.91	0.0	2.06	1.99	0.0	2.34	1.24	4.5	1.63	1.15	0.0	1.29	0.62		1.49	2.36
9	4.5	14.90	11.64	0.0	1.76	1.45	0.0	1.82	1.04	0.0	1.30	0.88	0.0	1.11	0.48		1.84	2.44
10	0.0	7.54	4.34	0.0	1.57	1.26	0.0	1.59	0.88	0.0	1.14	0.68	0.0	0.96	0.41		4.33	4.93
11	0.5	7.29	3.85	0.0	1.42	1.15	0.0	1.36	0.83	3.0	2.75	0.74	0.0	0.84	0.33		2.90	3.00
12	2.5	6.03	3.48	0.0	1.29	1.04	0.0	1.23	0.78	0.0	1.48	0.94	(0.0)	0.72	0.25		2.87	2.98
13	4.0	5.37	2.56	49.0	2.97	2.64	4.0	1.17	0.68	0.0	1.22	0.75		0.70	0.21		2.21	2.45
14	1.0	4.38	2.77	2.0	3.10	3.95	0.5	1.07	0.68	0.0	1.12	0.67		0.63	0.20		1.99	1.90
15	1.5	3.53	1.82	5.0	1.78	1.65	0.0	0.95	0.71	0.0	1.00	0.75		0.59	0.22		1.63	1.47
16	0.0	2.70	1.36	14.5	2.57	2.13	0.0	0.89	0.62	0.0	0.89	0.83		0.77	0.24		1.39	1.25
17	1.5	2.45	1.19	5.5	3.16	3.35	0.0	0.83	0.52	0.0	0.75	0.77		0.71	0.44		1.25	1.13
18	0.5	5.60	2.84	0.0	1.80	1.72	0.0	0.73	0.50	0.0	0.68	0.68		0.76	0.63		1.22	1.13
19	0.5	4.53	3.18	57.0	20.37	21.54	3.5	0.70	0.49	0.0	0.63	0.61		0.59	0.45		1.12	1.18
20	2.0	2.47	1.57	0.0	8.92	9.09	1.5	0.78	0.54	0.0	0.59	0.55		0.64	0.52		1.05	1.21
21	0.5	2.10	1.32	10.5	9.65	5.52	20.5	1.42	0.92	0.0	0.53	0.49		0.68	0.70		1.12	1.44
22	1.0	1.82	1.10	1.5	6.42	4.60	34.5	11.22	11.49	0.0	0.51	0.40		0.74	0.99		4.28	4.38
23	0.0	5.57	2.45	7.0	6.46	5.22	0.0	1.94	1.85	2.5	0.66	0.33		0.82	1.47		1.68	2.24
24	2.5	3.31	2.21	38.5	22.02	20.85	0.0	2.34	1.12	18.0	2.83	1.07		0.87	2.15		1.49	1.64
25	0.0	2.17	1.28	1.5	16.61	11.70	0.0	1.42	0.86	0.5	1.52	0.77		0.97	2.75		1.32	1.39
26	0.0	1.88	1.04	1.0	10.21	5.41	19.5	6.16	1.66	0.0	0.93	0.47		0.99	3.38		2.25	1.29
27	1.0	26.62	22.49	0.5	7.46	3.74	9.0	12.00	7.22	0.5	0.83	0.38		0.85	2.76		5.27	1.32
28	2.0	11.27	9.96	17.0	7.39	3.78	0.0	4.46	2.31	0.5	0.82	0.32		5.56	12.16		4.54	1.14
29	0.5	5.74	4.07	31.0	9.74	7.10	1.0	2.86	1.41	0.5	0.83	0.31		3.98	9.24		3.69	1.01
30	0.0	3.73	3.16	23.5	17.70	22.88	0.0	2.09	1.10	0.5	0.92	0.32		2.35	4.77		2.48	0.99
31	0.0	2.65	2.39	0.0	9.74	6.73					0.74	0.30					1.59	0.96
合計 Total	77.0	189.63	120.64	270.0	200.34	184.01	111.5	87.10	54.01	57.5	39.42	22.82	(22.5)	41.82	53.51	-	69.09	68.84

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11 月 12 日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2009年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		0.88	0.94		1.88	7.35		0.67	3.33		1.57	5.35		18.85	5.97		0.0	10.33
2		0.76	0.95		1.13	3.74		0.61	2.65		1.54	5.37		25.95	5.87		0.0	8.76
3		0.73	0.93		0.90	2.78		0.55	2.10		1.41	4.41		25.69	4.29		0.0	7.01
4		0.67	0.91		0.76	2.37		0.50	1.85		1.54	5.56		27.28	4.53		0.0	8.01
5		0.62	0.90		0.71	2.72		0.53	2.29		1.78	8.03		26.46	3.41		0.0	6.66
6		0.59	0.93		0.69	3.10		5.48	15.78		3.14	13.22		25.34	3.63		0.0	6.92
7		0.57	0.93		0.61	2.36		4.14	10.78		5.39	16.02		26.32	3.18		0.0	7.78
8		0.53	0.94		0.59	2.51		1.65	4.58		7.14	15.85		33.93	3.71		0.0	6.01
9		0.51	1.02		0.53	2.05		1.26	3.86		9.39	17.30		38.06	3.32		0.0	4.29
10		0.54	1.09		0.51	1.77		1.10	4.12		13.29	19.35		37.89	2.55		1.0	4.15
11		0.56	1.02		0.49	1.63		0.93	3.44		17.39	20.00		34.64	-		14.5	9.86
12		0.46	0.97		0.50	1.86		0.84	2.80		18.12	18.01		26.29	-		0.0	5.88
13		0.48	1.00		0.52	2.38		0.69	2.46		23.85	20.13		30.79	-		3.0	5.09
14		0.46	0.99		4.70	13.16		1.36	5.30		24.30	15.78		18.38	2.10		15.0	5.69
15		0.98	1.00		3.04	9.12		1.19	4.81		69.28	28.11		0.0	15.43		0.5	4.89
16		1.05	1.00		1.93	6.37		1.02	4.27		35.87	16.79		3.0	13.33		1.43	12.5
17		0.41	0.98		1.29	3.57		1.06	5.21		35.90	14.67		23.0	27.67		5.44	0.0
18		0.39	0.97		1.00	2.67		1.54	8.81		28.66	13.14		0.0	28.02		3.24	4.0
19		0.41	1.04		0.88	2.20		4.13	17.11		27.98	11.93		0.0	23.04		1.92	0.0
20		0.40	1.03		0.83	1.99		7.79	19.45		29.89	11.51		0.0	21.72		1.40	0.0
21		0.39	1.01		0.73	1.95		4.67	11.56		47.79	15.43		0.0	19.64		1.09	16.5
22		0.39	1.04		0.64	1.74		3.97	10.33		49.89	13.14		0.0	21.30		0.99	30.0
23		0.67	2.46		0.67	2.04		12.12	20.11		26.90	8.35		0.0	18.37		0.86	4.0
24		0.76	3.80		0.64	2.35		5.14	8.14		17.43	7.77		0.0	13.68		0.78	9.0
25		0.50	2.14		0.66	2.18		3.70	7.38		22.56	11.22		0.0	15.21		0.70	0.0
26		0.44	1.79		0.74	3.02		2.53	4.95		32.56	12.57		0.0	14.35		0.62	0.0
27		0.40	1.59		0.62	2.44		2.00	4.04		20.30	4.55		0.0	14.18		0.55	0.0
28		0.37	1.43		0.62	2.48		1.70	3.64		12.63	4.34		0.0	12.93		0.55	0.0
29		0.37	1.37					1.46	3.06		11.88	5.44		6.0	13.21		0.67	1.0
30		0.41	1.87					1.34	2.97		14.29	5.70		0.0	13.44		0.51	11.5
31		3.88	15.14					1.42	4.00					16.5	12.14		0.67	
合計 Total	-	20.57	53.16	-	28.82	93.91	-	77.09	205.18	-	613.68	369.05	(49.0)	693.50	(65.72)	122.5	182.76	(10.83)

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 5月13日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

初沢: 欠測の原因不明

2009年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		7.0	2.61	0.91	6.0	6.82	4.11	-	0.74	0.33	0.0	0.06	-	2.5	1.21	0.55	1.66	0.93
2		3.0	3.27	1.01	0.0	4.84	2.98	-	0.61	0.31	15.0	1.27	-	22.0	3.22	3.22	1.42	0.80
3		14.5	2.12	0.76	0.0	3.48	2.02	0.0	0.46	0.30	3.5	0.82	0.42	1.0	2.09	3.24	1.83	0.85
4		16.5	6.57	6.06	0.0	2.52	1.39	1.0	0.37	0.27	0.0	0.24	0.21	9.5	2.09	2.73	2.93	5.79
5		3.0	2.92	1.80	8.0	2.06	1.09	0.0	0.34	0.25	0.0	0.14	0.12	1.5	2.13	3.32	2.45	5.14
6		0.5	2.24	1.29	0.0	1.86	1.00	0.0	0.29	0.20	1.5	0.13	0.07	0.0	3.16	3.02	2.43	5.98
7		0.0	1.98	1.01	48.0	15.95	13.30	0.0	0.26	0.17	6.5	0.20	0.07	0.0	2.48	1.86	1.88	3.31
8		10.0	2.04	0.97	0.0	6.82	6.72	0.0	0.25	0.17	61.0	29.19	13.22	0.0	1.99	1.24	1.74	2.34
9		14.0	5.32	5.10	13.5	5.95	3.79	0.0	0.44	0.16	6.0	14.69	5.44	0.0	1.71	1.04	1.46	2.13
10		5.0	5.92	3.64	47.5	40.67	33.25	1.0	0.45	0.17	2.5	5.26	2.12	7.5	1.54	0.77	1.46	1.88
11		0.0	3.51	2.19	0.0	15.44	10.93	0.0	0.25	0.13	3.5	4.33	1.83	38.0	18.39	15.03	1.63	2.53
12		0.0	2.49	1.35	0.0	8.21	4.32	8.0	0.31	0.10	0.0	2.46	1.15	1.5	8.96	4.66	5.37	6.99
13		10.0	6.78	2.50	5.0	5.64	2.69	1.5	0.37	0.15	0.0	1.84	0.62	0.0	5.08	2.71	4.48	6.90
14		0.0	3.68	2.54	0.0	4.64	2.12	0.0	0.35	0.10	0.0	1.44	0.40	9.5	7.37	3.69	2.45	3.30
15		0.0	2.47	1.30	0.0	2.84	1.52	1.5	0.29	-	0.0	1.14	0.35	0.0	4.43	2.94	1.96	2.39
16		1.0	1.95	0.91	0.0	2.14	1.22	0.0	0.34	-	0.0	0.93	0.28	0.0	3.18	1.80	1.65	1.95
17		7.0	2.60	0.99	0.0	1.78	1.04	0.0	0.21	-	0.0	0.82	0.25	9.0	2.68	1.55	1.40	1.59
18		5.5	2.45	1.31	0.0	1.49	0.89	0.0	0.18	-	0.0	0.79	0.25	1.0	2.32	2.01	1.13	1.38
19		9.0	3.35	1.62	0.0	1.29	0.76	0.0	0.14	-	0.0	0.64	0.23	2.0	1.89	1.58	1.12	1.35
20		0.0	2.54	1.92	0.0	1.14	0.64	0.0	0.10	-	0.0	0.55	0.20	0.5	1.77	1.64	1.06	1.13
21		8.5	2.51	1.27	0.0	0.99	0.60	0.0	0.09	-	0.0	0.46	0.17	6.5	1.61	1.57	0.87	1.15
22		7.5	2.94	2.93	1.0	0.96	0.57	0.0	0.09	-	0.0	0.42	0.18	1.0	1.37	1.45	0.85	1.01
23		3.0	2.05	1.79	0.0	0.77	0.59	0.0	0.10	-	0.0	0.37	0.19	0.0	1.38	1.56	0.75	1.02
24		23.0	5.94	3.10	0.0	0.69	0.59	0.0	0.09	-	0.0	0.34	0.18	0.0	1.37	1.56	0.73	1.11
25		4.0	9.94	7.25	0.0	0.60	0.56	0.0	0.06	-	0.0	0.32	0.17	2.71	1.39		0.77	1.06
26		0.5	4.73	2.49	0.0	0.53	0.48	0.0	0.05	-	35.0	3.81	2.21	2.38	1.24		0.78	1.59
27		2.0	3.82	1.54	0.0	0.48	0.40	1.0	0.03	-	15.5	13.43	10.02	2.29	1.04		0.78	1.97
28		11.5	2.69	1.22	0.0	0.46	0.32	3.0	0.23	-	0.5	4.13	3.31	2.98	1.15		0.72	1.70
29		17.5	15.14	7.55	2.0	0.50	0.31	3.0	0.17	-	0.0	2.18	1.43	2.14	1.10		0.69	1.51
30		18.0	8.52	3.84	0.0	0.45	0.32	0.0	0.10	-	0.0	1.58	1.04	1.91	1.01		0.62	1.53
31		6.0	11.46	10.67	-	0.47	0.34				0.0	1.24	0.73				0.58	1.52
合計 Total	207.5	136.56	82.87	(131.0)	142.49	100.86	(20.0)	7.77	(2.82)	150.5	95.21	(46.87)	(113.0)	97.84	71.66	-	49.63	73.81

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 8月31日~9月2日にかけて、自記紙の線を読み取れず欠測。11月24日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 欠測の原因不明

Appendix Table 1. (つづき)
(Continued)

単位 Unit: mm

2010年	1月 January			2月 February			3月 March			4月 April			5月 May			6月 June		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1		1.29	1.50		0.19	1.24		2.93	8.07		1.60	5.08		19.93	14.46		14.45	1.21
2		2.01	1.32		0.21	1.21		3.49	12.51		10.11	22.96		20.57	14.25		13.17	0.97
3		0.88	1.18		0.24	1.20		2.98	8.51		6.10	10.94		25.21	17.25		13.98	0.79
4		0.59	1.13		0.22	1.11		1.90	4.90		4.33	9.22		37.89	21.29		12.92	0.74
5		0.36	1.13		0.20	1.08		4.64	13.17		5.90	12.30		48.52	21.26		5.0	1.03
6		0.35	1.10		0.24	1.13		7.20	17.01		11.00	19.35		57.41	21.17		10.56	0.66
7		0.32	1.12		0.44	1.04		5.56	10.16		11.48	16.08		47.12	14.39		10.03	0.51
8		0.39	1.07		0.39	0.99		3.34	5.94		7.86	11.83		36.67	12.53		9.12	0.50
9		0.39	1.01		0.28	1.12		2.30	4.81		7.07	11.64		29.10	9.17		8.91	0.46
10		0.39	0.99		0.48	2.13		1.82	3.61		10.96	19.13		25.61	8.17		10.51	0.33
11		0.35	0.97		0.42	2.45		1.54	2.92		20.90	26.64		27.38	8.05		8.83	0.26
12		0.23	0.98		0.33	1.82		1.37	2.81		27.81	26.44		32.75	12.10		7.99	0.19
13		0.23	0.98		0.26	1.44		1.30	3.65		36.98	35.24	(5.5)	19.81	9.76		8.16	0.17
14		0.36	0.99		0.25	1.28		1.33	4.15		24.96	15.71	1.0	13.25	8.56		9.68	0.35
15		0.34	0.94		0.21	1.25		1.34	4.81		12.82	7.44	0.0	10.86	7.27		7.55	0.31
16		0.35	0.95		0.23	1.21		3.02	9.74		8.09	4.99	0.0	14.63	7.94		18.0	15.12
17		0.28	0.93		0.21	1.15		2.57	7.20		5.81	4.41	0.0	19.26	6.86		7.65	0.77
18		0.28	0.91		0.19	1.12		1.75	4.65		4.57	5.18	0.0	28.99	6.27		7.0	5.53
19		0.29	0.91		0.20	1.11		1.72	5.71		4.51	7.43	15.5	31.60	5.19		10.12	2.98
20		0.26	1.02		0.22	1.17		3.40	13.03		7.20	12.59	4.5	48.48	8.67		6.69	1.44
21		0.34	1.34		0.22	1.14		12.60	28.36		16.19	18.91	0.0	43.68	4.96		5.28	0.81
22		0.35	1.48		0.22	1.29		5.82	9.25		14.66	14.99	0.0	31.74	3.42		4.47	0.54
23		0.30	1.22		0.30	2.54		3.59	5.63		12.87	11.81	23.0	33.60	3.69		6.10	1.37
24		0.31	1.12		0.84	6.25		2.66	4.73		9.73	8.10	25.5	73.70	22.03		4.85	1.07
25		0.25	1.07		1.25	9.27		2.12	3.76		8.34	9.02	10.5	40.88	6.68		3.99	0.52
26		0.28	1.05		2.36	13.13		1.82	3.72		10.33	12.81	5.5	30.38	6.04		3.76	0.37
27		0.23	1.02		12.06	32.79		1.66	3.51		13.29	17.63	1.0	31.37	4.89		15.09	5.93
28		0.23	1.12		5.90	12.54		1.51	3.58		25.47	30.73	0.0	22.94	3.51		16.39	8.57
29		0.31	1.46					1.32	2.83		29.40	23.41	0.0	16.93	2.48		16.79	9.42
30		0.27	1.26					1.20	2.44		22.51	14.64	0.5	14.14	1.89		20.41	15.17
31		0.22	1.18					1.12	2.29				0.0	14.96	1.53			
合計 Total	-	13.03	34.43	-	28.56	105.19	-	90.91	217.45	-	392.85	446.66	(92.5)	949.38	295.72	181.5	299.20	59.67

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 5月13日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計設置

初沢: 欠測の原因不明

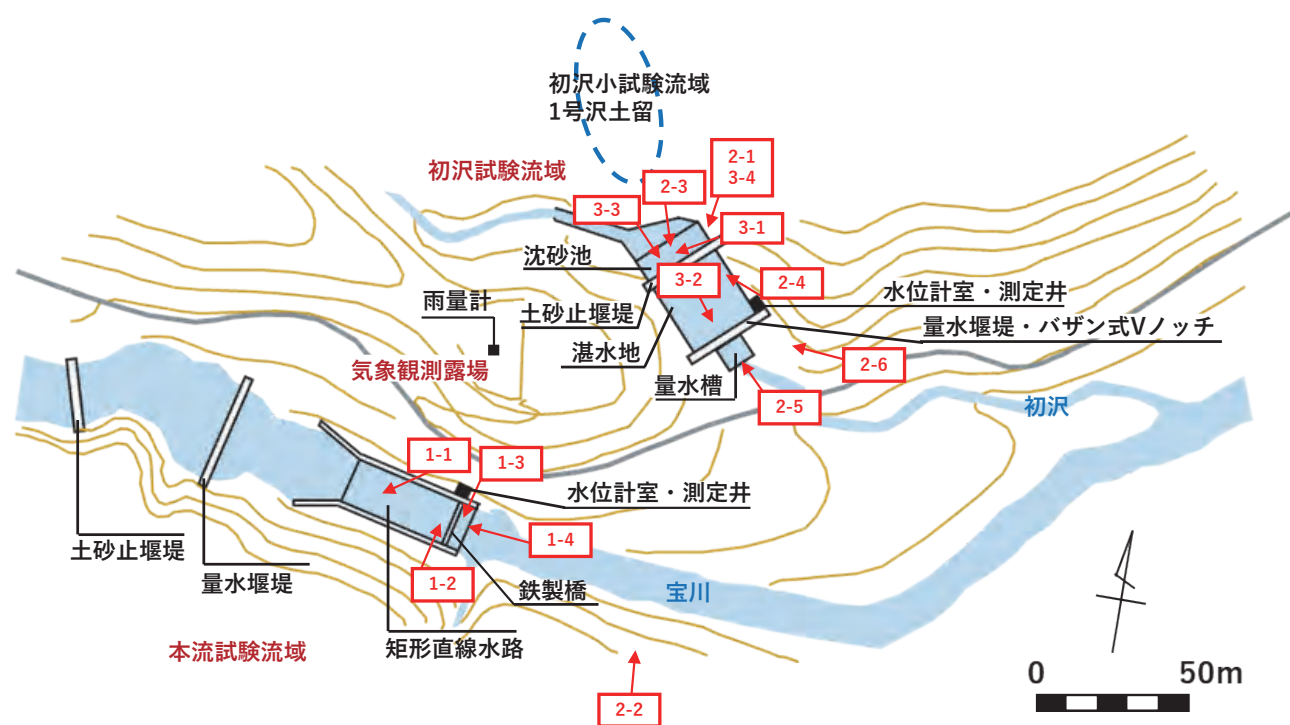
2010年	7月 July			8月 August			9月 September			10月 October			11月 November			12月 December		
	降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff		降水量 Precip.	流出量 Runoff	
日 day	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed	露場 Meteorological Sta.	本流 HONRYU Watershed	初沢 SHOZAWA Watershed
1	13.0	11.17	3.91	15.5	2.06	0.98	0.0	0.35	0.08	0.0	5.26	1.18	22.0	13.97	10.41		2.14	0.70
2	0.5	9.95	4.08	35.5	11.50	9.51	0.0	0.33	0.08	0.0	3.92	0.70	11.0	11.52	7.83		2.02	0.74
3	1.5	6.08	2.22	0.5	12.41	8.44	0.0	0.27	0.05	0.5	3.10	0.51	6.0	9.05	7.68		11.77	5.36
4	2.5	5.56	1.79	0.0	5.50	2.60	0.0	0.24	-	13.0	4.42	1.01	0.0	7.10	3.85		4.43	2.68
5	22.0	11.82	4.98	0.0	3.59	1.44	0.0	0.23	-	2.5	3.19	1.95	0.0	5.20	2.53		4.00	2.19
6	8.0	14.47	8.26	2.5	2.77	1.21	0.0	0.18	-	3.0	2.71	1.08	0.0	4.53	1.76		2.71	1.94
7	15.0	14.95	6.54	0.0	2.02	1.19	1.5	0.17	-	1.5	2.27	0.73	0.0	3.44	1.23		1.98	1.42
8	1.0	15.76	5.09	0.0	1.60	0.87	36.0	3.88	-	0.0	1.91	0.41	0.0	2.50	0.87		1.81	1.21
9	18.5	11.55	3.65	11.5	2.15	1.38	0.0	0.86	0.72	14.5	3.30	0.56	(0.0)	2.18	0.56		1.55	0.99
10	1.5	11.66	6.04	3.0	1.38	0.96	0.0	0.51	0.33	4.0	4.63	2.70		2.41	0.96		2.38	1.33
11	7.5	9.43	3.15	1.0	1.43	0.87	0.0	0.53	0.21	3.0	6.18	1.79		2.51	1.86		2.08	1.29
12	12.5	11.98	6.15	15.0	6.33	1.98	5.5	0.65	0.23	0.0	3.56	0.88		2.71	1.47		2.70	2.21
13	13.5	11.44	6.72	0.5	4.62	3.41	12.5	3.69	1.20	0.5	2.93	0.42		2.52	1.21		2.20	2.01
14	7.0	12.61	7.66	0.0	2.56	1.51	0.5	1.41	0.67	0.5	2.42	0.22		1.72	0.72		3.67	6.04
15	27.0	15.59	10.63	0.0	1.86	1.04	1.0	1.21	0.47	0.0	2.02	0.20		2.28	0.67		2.49	3.24
16	4.0	16.43	12.99	0.0	1.48	0.77	21.5	4.38	1.98	0.0	1.87	-		1.98	0.74		2.01	1.86
17	3.0	11.34	5.06	11.5	1.37	0.60	0.0	7.60	1.98	0.0	1.70	-		1.69	0.57		2.16	1.53
18	0.5	9.83	3.25	0.0	1.60	0.72	0.0	4.44	0.81	0.0	1.50	-		1.65	0.62		2.40	1.57
19	0.0	6.95	2.36	0.0	1.08	0.40	0.5	2.67	0.44	0.0	1.33	-		1.41	-		2.15	-
20	0.0	5.50	1.64	0.0	1.00	0.32	10.5	2.84	0.77	0.0	1.18	-		1.15	-		1.92	-
21	0.0	4.54	1.27	0.0	0.80	0.28	0.5	1.96	0.63	0.0	1.08	-		1.11	-		1.90	-
22	0.0	3.85	1.05	0.0	0.68	0.30	10.5	1.84	0.53	0.5	1.04	-		2.16	-		4.79	12.47
23	0.0	3.32	0.90	0.0	0.63	0.28	49.0	22.91	18.34	0.0	0.99	-		5.62	3.87		8.72	20.22
24	12.5	3.97	0.95	0.0	0.55	0.26	0.5	10.83	4.82	6.0	0.95	-		2.25	1.25		3.90	6.01
25	0.0	2.43	1.36	23.5	3.34	0.37	0.0	6.08	1.96	8.5	2.73	-		1.87	0.73		1.91	3.23
26	8.0	2.61	0.89	0.0	0.93	0.91	7.5	4.34	1.18	4.5	4.12	0.18		1.69	0.53		1.93	2.22
27	0.5	1.55	0.99	0.0	0.58	0.33	18.5	9.00	4.41	4.5	1.97	0.51		1.66	0.38		2.28	1.71
28	6.5	1.64	0.74	0.5	0.64	0.25	18.5	16.68	12.72	19.0	5.26	3.27		1.59	0.29		1.93	1.53
29	12.0	3.85	1.54	0.0	0.51	0.21	1.5	11.33	4.27	0.0	6.81	4.06		1.54	0.25		1.96	1.61
30	3.5	4.37	2.46	0.0	0.40	0.16	4.0	7.46	2.32	16.5	8.46	4.66		2.03	0.50		1.57	1.25
31	1.0	2.68	1.62	0.0	0.37	0.11				9.5	7.21	2.83					0.72	1.12
合計 Total	202.5	258.90	119.96	120.5	77.76	43.70	200.0	128.86	(61.19)	112.0	100.02	29.85	(39.0)	103.05	(53.34)	-	90.18	(89.68)

-: 欠測, (): 不確定値

注) 露場: 11月9日に自記式転倒ます式および貯留式雨量計撤収

初沢: 欠測の原因不明

Appendix 1. Fig. 1 宝川森林理水試験地の観測施設と写真撮影位置および撮影方向





Appendix Photo 1-1 本流試験流域水路改修工事 (2002 年7月撮影)



Appendix Photo 1-2 改修工事完了後の本流試験流域水路と水位計室
水路壁に測水井への導水孔が見える (2002 年9月撮影)



Appendix Photo 1-3 本流試験流域水路右岸側に設置された標尺 (2002 年9月撮影)



Appendix Photo 1-4 改修工事完了後の本流試験流域 (2002 年9月撮影)



Appendix Photo 2-1 初沢試験流域量水堰堤と沈砂池の排土 (2002 年6月撮影)



Appendix Photo 2-2 初沢小試験流域1号沢の土留め (2002 年7月撮影)



Appendix Photo 2 -3 改修工事中の初沢試験流域沈砂池 (手前) と土砂止堰堤を挟んで湛水池 (奥)と量水堰堤 (バザン式Vノッチ) (最奥) (2005 年9月撮影)



Appendix Photo 2 -4 改修工事完了後の初沢試験流域沈砂池 (2005 年11月撮影)



Appendix Photo 2 -5 改修工事完了後の初沢試験流域量水槽 (2005 年11月撮影)



Appendix Photo 2 -6 改修工事完了後の初沢試験流域の量水堰堤 (バザン式Vノッチ) (2005 年12月撮影)



Appendix Photo 3 -1 初沢試験流域沈砂槽の漏水防止工事 (2006 年8月撮影)



Appendix Photo 3 -2 水を抜いた初沢試験流域量水槽 (2006 年8月撮影)



Appendix Photo 3-3 漏水防止工事完了後の上流側から見た初沢試験流域量水施設 (2006 年9月撮影)



Appendix Photo 3-4 漏水防止工事完了後の初沢試験流域沈砂池 (2006 年9月撮影)

**Statistical report of hydrological data from TAKARAGAWA
experimental watershed.
- HONRYU and SHOZAWA watershed (January, 2001 to December, 2010) -**

Tayoko KUBOTA^{1)*}, Shoji NOGUCHI¹⁾, Takanori SHIMIZU¹⁾, Toshio ABE²⁾, Akira SHIMIZU³⁾,
Naoki KABEYA³⁾, Tatsuhiko NOBUHIRO²⁾, Shin'ichi IIDA¹⁾, Koji TAMAI¹⁾,
Shigeki MURAKAMI³⁾, Shinji SAWANO⁴⁾, and Yoshio TSUBOYAMA⁵⁾

Abstract

Observations of precipitation and runoff have been conducted since the inception of the Takaragawa Experimental Watershed (Meteorological observation site: 36° 51' N and 139° 01' E ; MSL 816-1945 m). This report describes daily precipitation and runoff from 2001 through 2010. During this period, we modified water-level-discharge curve, installed meteorological instruments newly, and created geographic information system data for terrain and vegetation.

Key words : Takaragawa experimental watershed, daily precipitation, daily runoff, rating curve, vegetation

Received 13 May 2020, Accepted 27 July 2020

1) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Tohoku Research Center, FFPRI

3) Kyusyu Research Center, FFPRI

4) Hokkaido Research Center, FFPRI

5) Vice-President, FFPRI

* Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI E-mail : ktayoko@affrc.go.jp