

## 釜淵森林理水試験地における作業道開設と小面積間伐が月流出量に及ぼす影響

阿部 俊夫<sup>\*1</sup>・久保田多余子<sup>2</sup>・小川 泰浩<sup>2</sup>・延廣 竜彦<sup>1</sup>・野口享太郎<sup>2</sup>

釜淵森林理水試験地では2018年10月に2号沢(尾根沿い)と4号沢(谷近く)で作業道開設と小面積間伐が行われ、材積伐採率は2号沢3.5%、4号沢4.4%と推定された。小規模施業が多雪地域の水流出に及ぼす影響を明らかにするため、施業前後での月流出量の変化を解析した。基準流域1号沢との月流出量の比を比較すると、4号沢では6月の月流出量比が施業後に増加したが、漏水のある4号沢では月流出量比と月降水量に正の相関があり、施業後に降水量の多い年があったことが原因と推察された。8月の2・3号沢の月流出量比も漸増傾向であったが、施業とは別の原因と考えられた。さらに、厳寒期、融雪期、暖候期に分けて1号沢との月流出量の関係を解析したが、いずれの時期、流域でも施業前後で違いは認められなかった。今回の施業では作業道も含めて除去された樹木が極めて少ないため、水流出量に明瞭な変化が現れなかったと考えられる。

キーワード：作業道、小面積間伐、水流出、多雪地域、釜淵森林理水試験地

Toshio Abe,<sup>\*1</sup> Tayoko Kubota,<sup>2</sup> Yasuhiro Ogawa,<sup>2</sup> Tatsuhiko Nobuhiro,<sup>1</sup> Kyotaro Noguchi<sup>2</sup> (2023) Effects of Spur Road Construction and Small-Area Thinning on Monthly Runoff in the Kamabuchi Experimental Watershed. *J Jpn For Soc* 105: 338-343 In October 2018, spur road construction and small-area thinning were conducted in No. 2 (along the ridge) and No. 4 (near the stream) of the Kamabuchi experimental watershed. Logging rates by volume were estimated at 3.5% and 4.4% respectively. To assess the effects of small-scale practice on water runoff in snowy regions, we compared monthly runoff before and after thinning. In the analysis of the monthly runoff ratio to the No. 1 control watershed, the runoff ratio in No. 4 increased after thinning in June only. However, No. 4 had water seepage problems, and the monthly runoff ratio was positively correlated with monthly precipitation. The increased runoff is likely due to several years of high precipitation after thinning. The monthly runoff ratios in No. 2 and No. 3 gradually increased in August, possibly unrelated to the thinning. Then the relationships between the monthly runoff in the No. 1 and the other three watersheds were analyzed for the three seasons (midwinter, snowmelt, and warm seasons). No differences were observed before and after thinning in any season or watershed. Given the limited tree removal during small-area thinning, its impact on water runoff is considered insignificant.

Key words: spur road, small-area thinning, water runoff, snowy region, Kamabuchi experimental watershed

## I. はじめに

森林伐採によって流域からの水流出量が増加することは良く知られているが (Bosh and Hewlett 1982; Brown *et al.* 2005)、間伐などの除去される樹木量が少ない施業に関しては、水流出への影響が十分に解明されたとはいえない。間伐によって水流出量が増加したという報告は日本国内でもあるが、流域全体に対する間伐率が比較的高い施業を対象とした研究が多く (山本・池田 2005; 武田ら 2009; Dung *et al.* 2012; 久保田ら 2013a; Kubota *et al.* 2018)、伐採量の少ない小規模施業についての報告は少ない。さらに、冬季に積雪で覆われる多雪地域に関しては、年間を通じて水文観測している試験地が少なく、実際に間伐などの森林整備を行って水流出への影響を調べた研究は極めて少ない (金子ら 2019b)。多雪地域では、暖候期には一般的な降雨・流出であるが、厳寒期には降水が積雪として貯留され、春の融雪期に集中して流出するという特有の流出プロセスが存在するため (中野・菊谷 1956; 志水 1990; 阿部ら 2023)、施業の影響も非降雪地域とは大きく異なると考えられる。例えば、等高線に沿った帯状伐採が、融雪期の流出率上昇と融雪流出期間の長期化をもたらしたという報告がある (志


水・吉野 1996)。これは、伐採箇所における積雪量増加と残存林帯の被陰による融雪遅延効果と考えられている。間伐などの小規模な施業でも、伐採方法は異なるものの、類似した現象が生じる可能性はありうる。

釜淵森林理水試験地 (以後、釜淵試験地) は、東北地方の多雪地域に位置する長期理水試験地であるが (久保田ら 2023)、近年、2号沢と4号沢において作業道開設と小面積間伐が実施された。施業箇所は、2号沢では尾根沿い、4号沢では谷近くと流域によって異なっているが、尾根側よりも谷側の森林の方が水流出への影響は大きいと考えられる (川口・小野 1985; 小野・川口 1989)。そこで本研究では、施業前後9年間の月水文量データ等を用いて、施業位置の異なる小規模施業が多雪地域の水流出に与える影響を解析した。

## II. 調査地および調査方法

## 1. 調査地

釜淵森林理水試験地は、山形県最上郡真室川町の鶴下田沢国有林内 (北緯 38° 56′, 東経 140° 15′) にあり、4流域で構成されている (J-Stage 電子付録付図-1)。1939年に1号沢 (3.06 ha) と2号沢 (2.48 ha) において対照流域法に

\*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: toshioa@ffpri.affrc.go.jp  <https://orcid.org/0000-0003-0946-1746>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人森林研究・整備機構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 (Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 92-25 Nabeyashiki, Shimokuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, Japan)

<sup>2</sup> 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 (Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan)

(2023年4月21日受付; 2023年10月2日受理; 2023年11月1日発行)

©2023 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の元で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

よる試験が開始され、1961年に3号沢(1.54 ha)と4号沢(1.12 ha)が追加された(久保田ら 2023)。基準流域の1号沢はブナ(*Fagus crenata*)やコナラ(*Quercus serrata*)などの落葉広葉樹にスギ(*Cryptomeria japonica*)が混生する針広混交林であり、観測開始から伐採は行われていない。2号沢は、1947~1948年に針広混交林を皆伐した後、1960年にスギが植栽された(農林省林業試験場 1961; 東北支場山形試験地 1980)。3号沢と4号沢は、1964年に流域面積の半分(3号沢は谷側、4号沢は尾根側)を、1969年に残り半分の皆伐した後、1970年にスギが植栽された(細田・村上 2007)。現在は、2~4号沢でも、スギ以外に自然侵入したブナやコナラなどの落葉広葉樹が生育している。なお、地質は第三紀凝灰岩および頁岩質凝灰岩からなる(丸山・猪瀬 1952)。

本研究で対象とした施業は、2018年10月下旬に2号沢(81林班ぬ小班)および4号沢(81林班り小班)にて実施された。所管する山形森林管理署最上支署の森林調査簿(2018年5月閲覧)によれば、施業時の林齢は2号沢で55年、4号沢で49年であり、ha当たりの材積量は301 m<sup>3</sup>、4号沢で300 m<sup>3</sup>であった(林齢から2号沢は1964年に再植栽を行ったと考えられる)。最上支署からの事前説明では、両小班に2~3本の作業道を開設し、全域で1伐3残の列状間伐を行う計画とのことであった。しかし、実際の施業内容は極めて小規模なものとなり、2号沢では尾根沿い、4号沢では谷近くに各1本の作業道が開設され(J-Stage電子付録付図-1)、作業道近傍の狭い範囲で間伐が行われたのみであった(J-Stage電子付録付図-2、付図-3)。間伐区域が流域面積に占める割合は、2号沢で1.2%、4号沢でも17.7%であった。施業箇所としては、地形的に作業道が開設しやすく、かつスギの多い場所が選択されたようである。この施業では、伐倒は作業員がチェーンソーで行い、伐倒木はグラブで木寄せした後、クローラーキャリアで流域外の土場へ搬出された。作業道の開設にはバックホウが用いられた。作業道の幅はのり面を含めて約3.5 m、総延長は2号沢で606 m(48.5%が流域内)、4号沢で200 m(55.4%が流域内)である(J-Stage電子付録付図-4、付図-5)。間伐区域内については面積でおおよそ20%が伐採されていることから、伐採面積率は2号沢では間伐0.2%、作業道開設4.1%、4号沢では間伐2.8%、作業道開設3.5%と推定された。また、材の生産量から材積伐採率を推定すると、2号沢では間伐0.2%、作業道開設3.3%、4号沢では間伐2.0%、作業道開設2.4%と計算された。なお、間伐地点では表層土壌の明らかな攪乱は認められず、翌年から草本が繁茂し、2020年には周囲の林床より草本の被度が高くなった。4号沢では、作業道でも2020年から草本が侵入し、2021年には作業道のほぼ全域が草本で覆われた。しかし、2号沢の作業道では2022年でも草本の侵入は限定的である。

## 2. 方法

### 1) 観測方法

流出量および降水量の観測については、久保田ら(2023)と同様である。各流域の流出量は、三角堰で観測した水位

から流量を算出し、流域面積で除して水高(mm)に換算した。三角堰のゴミ詰まりや排土作業などのために欠測となった期間もあるが、この場合は、欠測した流域の日流出量を基準流域である1号沢の日流出量から回帰式で推定し補間した。1号沢が欠測となった期間もわずかにあるが、2号沢の日流出量から回帰式で推定した。なお、4号沢は以前より量水堰の漏水があり、流出量が過少評価となっている(細田・村上 2007)、近年については1号沢との相関は比較的安定している。

降水量は、森林総合研究所山形実験林の気象露場(試験地から南東へ約1 km)に設置された雨雪量計のデータを基本としたが、欠測の場合はすぐ近くにある予備雨量計(東へ55 m、庁舎脇に設置)のデータを用いた。停電などにより両者とも欠測した場合は、気象庁の差首鍋アメダス観測所(西南西へ6.0 km)の降水量から回帰式を用いて日単位で推定した。11月~4月については、例年、降水が雪となる可能性があることから、日平均気温を基準として日単位で雨雪判別を行った。判別基準としては小川・野上(1994)に記載の東北西部の気温を用いた(4月の記載はないが、3月と同じと仮定した)。なお、日データを集計する際の日界はこれまでの観測報告に従って10時とし、月ごとに各流域の月流出量、月降雨量、月降雪量を求めた。

気温、積雪深などの気象観測も、降水量と同じく山形実験林の気象露場にて行った(久保田ら 2023)。気温は10分間隔で計測した値から日界10時の日平均気温を求め、これらを元に月平均気温を算出した。停電や工事などで欠測した期間については、気象庁の新庄アメダス観測所(南南東へ20.5 km)の気温データから回帰式を用いて日平均気温を推定した。積雪深については、積雪深計の10時の瞬時値を用いて、月ごとに月最大積雪深を求めた。

### 2) 解析方法

本研究では、解析対象期間を施業前5年間(2014~2018水年)、施業後4年間(2019~2022水年)とした。釜淵試験地では、例年、10月の降水量が比較的少ないため、前年11月1日~10月31日を1水年として扱っている(中野 1971)。例えば、2022水年は2021年11月1日~2022年10月31日となる。施業の行われた2018年に関しては、2流域とも作業実施が10月下旬の5日間に限られることから、解析では施業前の期間に含めた。

まず、基準流域である1号沢に対する他の3流域の月流出量の比を求め、施業前後で流出量比に違いがあるかを月ごとにMann-Whitney U検定を用いて調べた。月降雨量、月降雪量、月最大積雪深、月平均気温についても、施業前後で違いがあるかを月ごとにMann-Whitney U検定を用いて調べた。次に、水年を厳寒期(12~2月)、融雪期(3~4月)、暖候期(6~10月)の3時期に区分し、施業前後で1号沢の月流出量との関係に違いがあるかを共分散分析により調べた。この際、月流出量の数値は、正規性を仮定するために対数変換して用いた。なお、5月と11月は積雪期と非積雪期の移行期のため、上記3区分からは除外した。春季の融雪流出は、例年は4月中に終了するが、多雪年では5月まで続くことがあり、初冬の降水も11月は雪の割

合が水年によって大きく異なる。統計解析は R version 4.1.2 (R Core Team 2021) 上で EZR ver. 1.55 (Kanda 2013) を用いて行った。

なお、流出量は、データの時間間隔によっては、出水の減水過程のようにそれ以前の流出量の影響を受ける可能性もある。ただし、釜淵試験地では地質や急峻な地形の条件のため、出水終了後の流出量低減が速く (小野 1990)、月単位でみれば、前月の流出量が翌月の流出量に影響することはないと考えられる。

### III. 結 果

各流域の1号沢に対する月流出量比について見ると、4号沢では6月に、2・3号沢では8月に有意差が認められ (Mann-Whitney  $U$  検定,  $p < 0.05$ )、施業後の期間の方が月流出量比は大きかった (図-1)。6月、8月以外の月では、月流出量比に違いは認められなかった。各月の気象条件 (月降雨量, 月降雪量, 月最大積雪深, 月平均気温) については、いずれの月でも施業前後で統計的に有意といえるほどの違いは認められなかった (J-Stage 電子付録付図-6, Mann-Whitney  $U$  検定,  $p > 0.05$ )。月最大積雪深は、単純に平均値を比較すると、施業後に小さくなっているが、これは施業後の期間に記録的な少雪年 (2020年) が含まれるためである。解析対象期間中では、2015, 2018, 2022

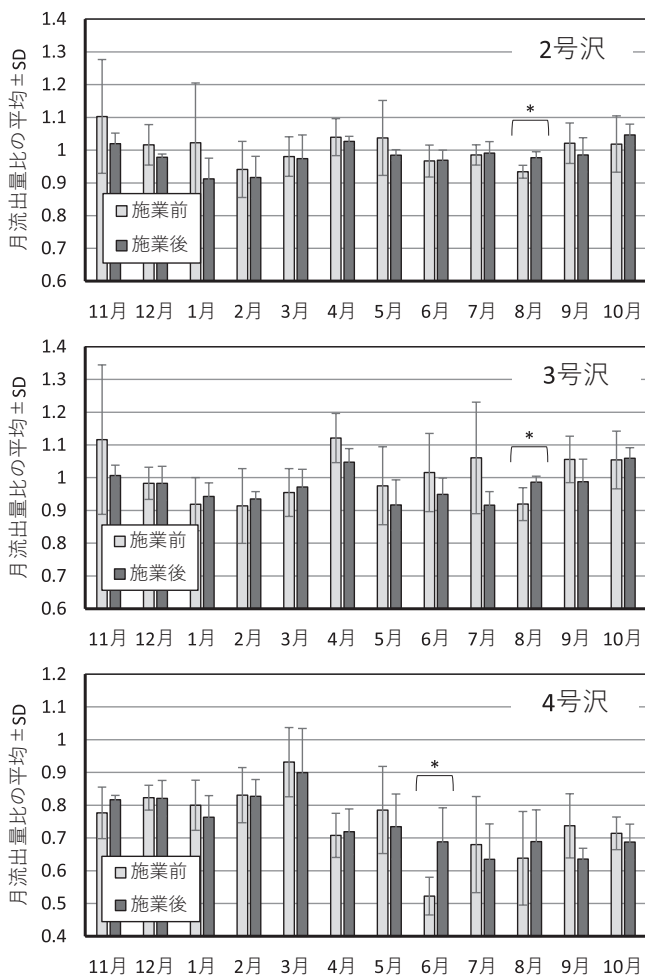


図-1. 各流域の1号沢に対する月流出量比の施業前後での比較  
\*平均値に有意差あり (Mann-Whitney  $U$  検定,  $p < 0.05$ )

水年が多雪年, 2016, 2020水年が少雪年であった。暖候期の降雨量については2018, 2020水年が多雨年, 2015, 2016, 2021水年が少雨年であった。

1号沢との月流出量比に間伐前後で有意差の認められた6月と8月については、経年変化も調べてみた。6月に關しては、4号沢の月流出量比は施業後に増加していたが、2・3号沢には目立った変化が認められなかった (図-2左上)。6月の降水量は間伐後の2019, 2022水年で多く (図-2右上), 2021水年を除けば、月流出量比と似た変化の傾向を示した。2021水年は6月の降水量が少なめであったが、1時間間隔データを確認すると、降水はすべて四つの比較的大きな降雨出水イベントに集中し、これら以外の弱い降雨は全く無かった。8月に關しては、2・3号沢の月流出量比は解析期間を通じて漸増していたが、4号沢では一定の傾向は認められなかった (図-2左下)。8月は施業後が高温・多雨傾向のようにも見えるが (図-2右下), 年変動が大きく、月流出量比と類似した変化は見いだせなかった。なお、漏水のある4号沢の月流出量比は、雪の影響のない暖候期に限っては、月降水量と正の相関が認められた (J-Stage 電子付録付図-7,  $r = 0.491$ ,  $p < 0.001$ )。

次に、水年を厳寒期, 融雪期, 暖候期の3期に分けて、2~4号沢と1号沢との月流出量の関係を調べた (図-3)。各流域とも1号沢との関係はほぼ線形となっているが、この関係は月流出量を対数変換しても同様である。共分散分析の結果、いずれの流域、いずれの時期においても、施業前後で1号沢との関係に有意な違いは認められなかった (表-1)。なお、2020水年は記録的な暖冬・少雪であったが、融雪期の降雨量は多く、この年を除外して解析しても結果は変わらなかった。

### IV. 考 察

釜淵試験地では1964年に3・4号沢で行われた部分皆伐試験により、尾根側よりも谷側の森林の方が水流出への影響が大きいことが明らかになっている (川口・小野 1985; 小野・川口 1989)。今回の小規模施業でも、尾根沿いを施業した2号沢より、谷近くで施業を行った4号沢の方が水流出への影響は現れやすいと予想されたが、月流出量比に施業前後で有意差がみられたのは、4号沢では6月、2号沢では8月のみであった (図-1)。また、水年を厳寒期, 融雪期, 暖候期の3期に分けて行った解析では、いずれの流域、時期においても、施業前後で明瞭な変化は認められなかった (図-3, 表-1)。解析対象期間には極端な少雪年も含まれ、暖候期は施業後が多雨傾向となるなど気象条件の年変動もあったが、図-3をみる限り、どの流域も1号沢との関係は線形であり、施業前後でもほぼ同様の反応を示しているようである。

4号沢で月流出量比の変化が認められた6月に關しては、施業後に月流出量比が増加していることから、施業によって蒸発散量が減少した可能性も示唆された。しかし、漏水のある4号沢では、月流出量比は月降水量と正の相関を有しており (J-Stage 電子付録付図-7)、施業後に降水量の多い水年があった (図-2) ことが、月流出量比の変化を

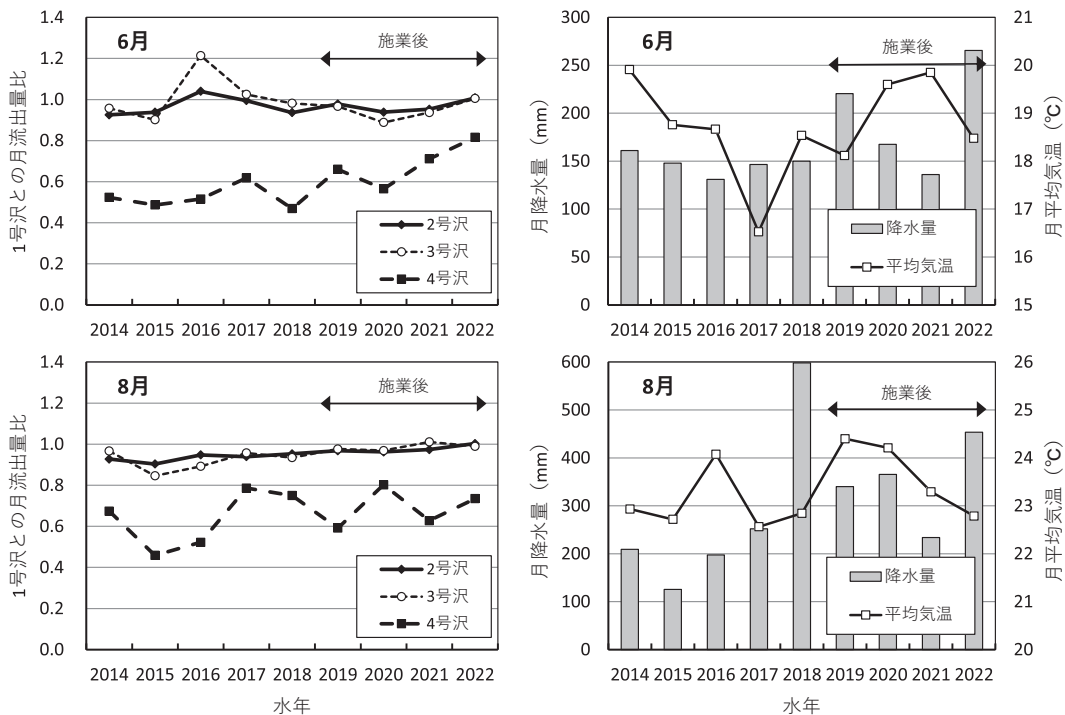


図-2. 6月と8月の月流出量比および月降水量、月平均気温の経年変化

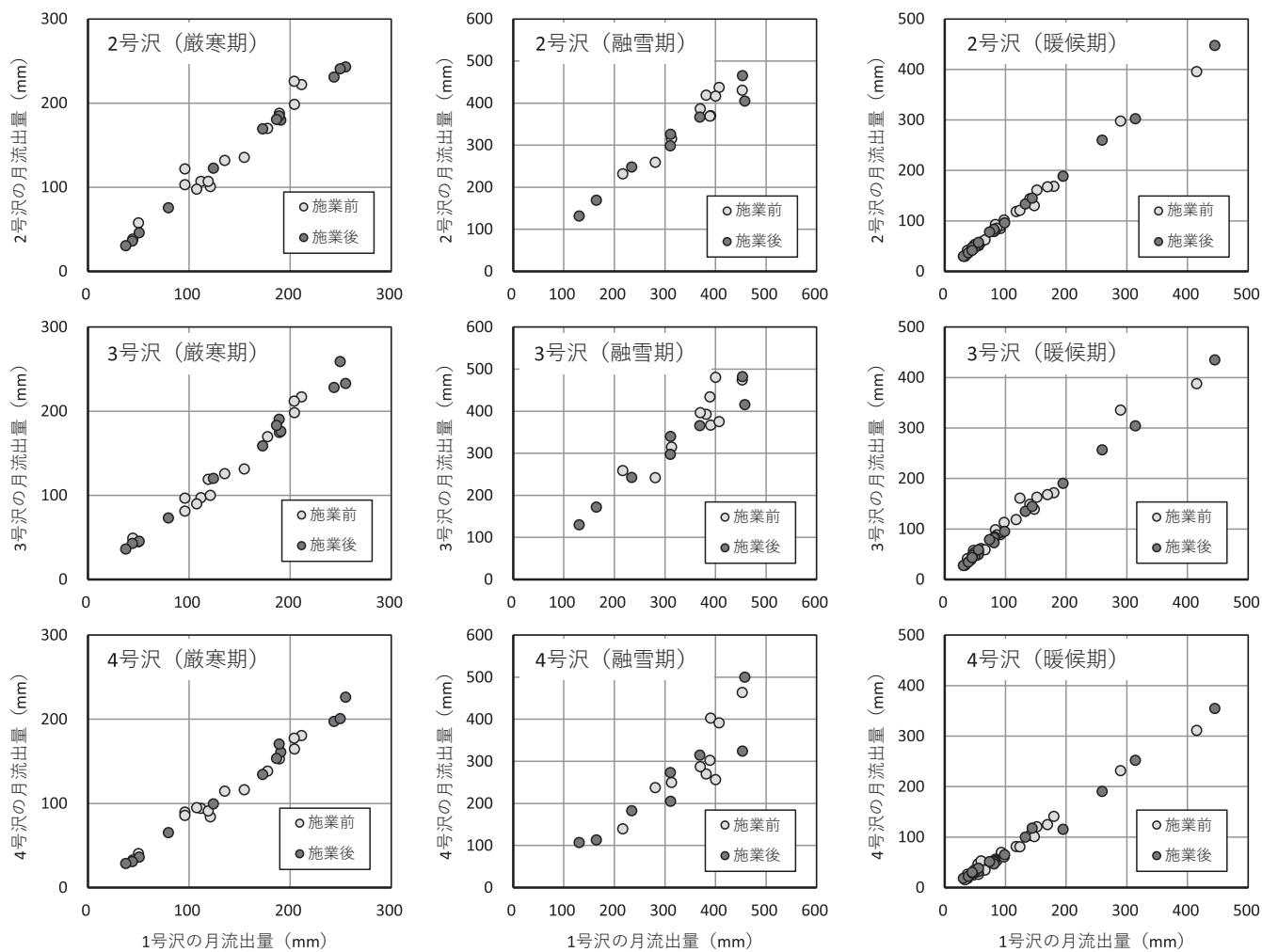


図-3. 厳寒期（12～2月）、融雪期（3～4月）、暖候期（6～10月）における各流域と1号沢の月流出量の関係

表-1. 3 時期について 1 号沢との関係を施業前後で比較した結果 (共分散分析)

流域	統計量	厳寒期	融雪期	暖候期
2 号沢	交互作用 $p$	0.238	0.834	0.884
	施業効果 $F$	2.232	0.495	0.226
	施業効果 $p$	0.148	0.492	0.637
3 号沢	交互作用 $p$	0.780	0.924	0.557
	施業効果 $F$	0.413	0.418	1.878
	施業効果 $p$	0.527	0.528	0.178
4 号沢	交互作用 $p$	0.234	0.340	0.168
	施業効果 $F$	0.375	0.127	0.436
	施業効果 $p$	0.546	0.726	0.513

基準流域 1 号沢の月流出量を共変量とし、月流出量は対数変換した値を用いた。

引き起こした原因と推察される。6 月は例年であれば降水量が少なく、流出量も減少する時期であるが、2019、2022 水年は降水量が多く、2021 水年も降水が比較的大きな降雨出水イベントに集中していた。まとまった降雨では短期間に大量の水流出が起こるため、漏水の影響は相対的に小さくなり、1 号沢に対する流出量比も高くなったものと思われる。なお、4 号沢の月流出量比は、小さいときでは 0.5 前後まで低下しており (J-Stage 電子付録付図-7)、基底流出の約 50% は漏水しているものと考えられる。2 号沢においても、8 月に月流出量比の増加が認められたが、これは期間全体を通じた漸増傾向で、施業を行っていない 3 号沢でも同様なことから、施業に起因した変化とは考えにくい。1 号沢に対する 2・3 号沢の月流出量比は、平均的には 1 前後であるが、蒸発散量が最大となる 8 月 (鈴木 1985) では低い傾向にある (図-1)。これには、流域ごとの蒸発散量や流出特性の違いが関係しているものと推察される。8 月の月流出量比が経年的に変化した理由は、はっきりとは分からないが、月降水量は 2018 水年以降に増加傾向となっており (図-2)、こういった降水量の変化が月流出量比に影響した可能性も考えられる。

以上のように、2 号沢、4 号沢ともに、今回の小規模施業に起因すると考えられる流出量の変化は認められなかった。釜淵試験地でも、かつて行われた皆伐では、降雨・降雪の樹冠遮断と樹木による蒸散が無くなったことで明瞭な流出量増加が認められているが (中野 1971; 玉井 2021; 阿部ら 2023)、流域面積に対する伐採率が小さい場合には流出量への影響も小さいと予想される (Bosch and Hewlett 1982; Brown *et al.* 2005)。国内でも間伐によって流出量が増加した事例は報告されているが、多くは野外実験として計画された本数間伐率 50% 以上などの強度間伐に関する結果である (山本・池田 2005; Dung *et al.* 2012; 久保田ら 2013a; Kubota *et al.* 2018; 金子ら 2019b)。流域全体に対する間伐率がより小さな施業の事例としては、神奈川県のスギ・ヒノキ人工林流域で小面積皆伐と定性間伐を組み合わせ本数間伐率 17% の森林整備を行ったところ基底流出と直接流出の増加が認められたとする報告 (白木ら 2020) や、鳥根県の間伐遅れ人工林流域において本数間伐率 32% の間伐を行ったところ基底流出の増加が認められたとする報告 (武田ら 2009) がある。一方で、高知

県の人工林流域における材積間伐率 6.35% の間伐では直接流出やピーク流出に目立った変化は認められなかったとの報告 (Abu Farah Md Anisur Rahman *et al.* 2005) もある。本研究の小規模施業は、作業道開設と小面積間伐を合わせても、流域に対する伐採面積率が 2 号沢 4.3%、4 号沢 6.3%、材積伐採率は 2 号沢 3.5%、4 号沢 4.4% と推定され、高知県の事例と比較してもさらに小規模であるといえる。

間伐による変化は、林分スケールの樹冠遮断や蒸散については比較的明瞭に現れることが多い。例えば、間伐林分において冬季の樹冠通過降水量や積雪量が増加することが知られており (Wood *et al.* 2006; 野口ら 2010; 金子ら 2019a)、暖候期に関しても、間伐後に樹冠通過降水量の増加 (岩谷ら 2013)、蒸発散量の減少 (久保田ら 2013a, 2013b) が生じたという報告がある。今回の施業でも、作業道や間伐区域内に限っては、冬季の積雪量増加や暖候期の蒸発散量減少が生じた可能性はあるものの、流域全体に対する施業規模が極めて小さかったために、流域スケールでは流出量の変化を検出することができなかつたものと考えられる。加えて、4 号沢では、間伐地点と作業道において草本が繁茂するようになっており、これら草本による蒸発散も、暖候期の流出量変化を不明瞭にした要因と考えられる。

## 謝 辞

本試験地の維持・管理に際しては、山形森林管理署最上支署ならびに当研究所 OB の栗田稔美氏、ご子息の栗田裕之氏らのご協力をいただいた。これらの方々に感謝の意を表します。本研究は JSPS 科研費 JP20K06134 の助成を受けて行われたものである。

本研究に関して、開示すべき利益相反はない。

## 引用文献

- 阿部俊夫・久保田多余子・野口正二・細田育広 (2023) 釜淵森林理水試験地における皆伐とその後の植生回復が融雪流出に及ぼす影響. 日林誌 105: 1-10
- Abu Farah Md Anisur Rahman, Hiura H, Shino K, Takase K (2005) Effects of forest thinning on direct runoff and peak runoff properties in small mountainous watershed in Kochi Prefecture, Japan. Pak J Biol Sci 8: 259-266
- Bosh JH, Hewlett JD (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. J Hydrol 55: 3-23
- Brown AE, Zhang L, McMahon TA, Western AW, Vertessy RA (2005) A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. J Hydrol 310: 28-61
- Dung BX, Gomi T, Miyata S, Sidle RC, Kosugi K, Onda Y (2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest. J Hydrol 444-445: 51-62
- 細田育広・村上 亘 (2007) 釜淵森林理水試験地観測報告—3・4 号沢試験流域— (1961 年 1 月~2000 年 12 月). 森林総研研報 404: 163-213
- 岩谷綾子・金子智紀・和田 覚・野口正二 (2013) スギ人工林における間伐が樹冠通過降水量に及ぼす影響—秋田県長坂試験地における無積雪期間の事例—. 東北森科誌 18: 38-42
- Kanda Y (2013) Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZ' for medical statistics. Bone Marrow Transplant 48: 452-458
- 金子智紀・野口正二・和田 覚・新田響平・澤野真治 (2019a) 間伐を実施したスギ林における冬期樹冠通過降水量の評価. 水水会誌 32: 138-147
- 金子智紀・和田 覚・新田響平・田村浩喜・野口正二 (2019b) スギ人工林の間伐が水流出に及ぼす影響. 東北森林科学会講演要旨集 24: 42
- 川口利次・小野茂夫 (1985) 森林と水の研究でわかったこと—釜淵

- の観測結果から一. 林試東北支場たより 277: 1-4
- 久保田多余子・野口正二・阿部俊夫 (2023) 釜淵森林理水試験地観測報告—1・2・3・4号沢試験流域— (2011年1月~2016年12月). 森林総研研報 464: 305-335
- 久保田多余子・野口正二・坪山良夫・延廣竜彦・金子智紀・岩谷綾子 (2013a) 間伐による森林からの流量・蒸発散量の変化. 森林総研平成25年版研究成果選集: 38-39
- 久保田多余子・坪山良夫・延廣竜彦・澤野真治 (2013b) 常陸太田試験地における間伐による蒸発散量の変化. 日林誌 95: 37-41
- Kubota T, Tsuboyama Y, Nobuhiro T (2018) Effects of thinning on canopy interception loss, evapotranspiration, and runoff in a small headwater *Chamaecyparis obtusa* catchment in Hitachi Ohta Experimental Watershed in Japan. Bull FFPRI 445: 63-73
- 丸山岩三・猪瀬寅三 (1952) 釜淵森林理水試験第1回報告. 林試研報 53: 1-44
- 中野秀章 (1971) 森林伐採および伐採地の植被変化が流出に及ぼす影響. 林試研報 240: 1-251
- 中野秀章・菊谷昭雄 (1956) 森林伐採と融雪. 日林誌 38(8): 314-316
- 野口正二・金子智紀・和田 覚・石川具視 (2010) スギ林における間伐区と無間伐区の積雪深の比較. 水水会誌 23: 339-346
- 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) 2. 東北支場山形分場 (釜淵森林理水試験地) (1939年1月~1958年12月). 66-118
- 小川真由美・野上道男 (1994) 冬季の降水形態の判別と降水量の分離. 水・水会誌 7: 421-427
- 小野茂夫 (1990) 今後の森林理水試験の進め方. 森林総研東北支所たより 345: 1-3
- 小野茂夫・川口利次 (1989) 森林の部分的伐採および皆伐が流出におよぼす影響. 森林総研東北支所年報 30: 46-49
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 志水俊夫 (1990) 森林伐採が融雪流出に及ぼす影響. 雪氷 52: 29-34
- 志水俊夫・吉野昭一 (1996) 等高線に沿った帯状伐採が融雪流出に及ぼす影響. 雪氷 58(1): 3-10
- 白木克繁・金澤悠花・工藤 司・片岡宏介・ウジムセ・内山佳美 (2020) 簡易架線集材による森林整備が流出浮遊土砂量と流域流出量に与える影響. 水・水会誌 33: 47-55
- 鈴木雅一 (1985) 短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定. 日林誌 67: 115-125
- 武田育郎・福島 晟・宗村広昭 (2009) 間伐遅れの針葉樹人工林における水文流出の特徴とその長期変動. 農業農村工学会論文集 263: 41-48
- 玉井幸治 (2021) 森林の伐採などが最大・最小日流出量 (無雪期) に及ぼす影響—釜淵と竜ノ口山の両森林理水試験地の事例から—. 水・水会誌 34: 243-253
- 東北支場山形試験地 (1980) 釜淵森林理水試験地観測報告—1・2号沢試験流域 (1959年1月~1978年12月). 林試研報 311: 129-188
- Wood SW, Ahl R, Sappington J, McCaughey W (2006) Snow accumulation in thinned lodgepole pine stands, Montana, USA. For Ecol Manag 235: 202-211
- 山本哲也・池田作太郎 (2005) 水土保持機能総合モデル事業地における森林の変遷と流出特性—水源涵養機能を向上させる森林整備の方向性—. 広島県林技セ研報 37: 15-33