

## 定山溪森林理水試験地の長期流出特性

森林総合研究所北海道支所 阿部 俊夫・山野井 克己・溝口 康子

### はじめに

森林総合研究所の定山溪森林理水試験地は、札幌市郊外の国有林に1987年に設置された水文試験地である(2, 3)。現在、地球温暖化にともなう降雪量や融雪時期の変化が危惧されているが(6)、我が国の積雪寒冷地で長期の水文観測がおこなわれている森林流域は少なく、本試験地のデータは貴重と考えられる。本試験地では、かつてパイプ流や浮流土砂流出などプロセス研究は盛んであったが(9, 13, 20)、長期データについてはこれまで十分な整理、解析がされてこなかった。そこで、本研究では1991～2011年の日単位データを用いて解析をおこない、降水・流出の季節変化や流況曲線、水収支など本試験地の長期流出特性を明らかにした。

### 調査地と方法

定山溪森林理水試験地は豊平川水系に属し、定山溪ダムと定山溪温泉との中間に位置する。本試験地は針広混交林に覆われた隣接する2つの小流域からなっており、流域面積は時雨1の沢が1.998 ha、時雨2の沢が6.071 haである(図-1)。地質は石英斑岩であり(4)、地形は急峻(平均傾斜35°前後)で土層は約1 mと薄い(文献(17)より算出)。

両流域とも、治山堰堤にステンレス製60°V型ノッチを取り付けて流量観測をおこなった(2, 3)。冬季は赤外線ランプを用いて流水の凍結を防止し、降水量は気象露場にヒーター付き雨雪量計を設置して観測した。また、露場では2006年12月より気温の観測もおこなった。

解析には、1991～2011年の日降水量と日流出量を用いた。このうち1991～2007年の日データは既に公開されている(2, 3, 16)。また、雨雪判別は日平均気温を用いておこなったが(12)、気温データのない期間は札幌のアメダス日平均気温から回帰式を用いて本試験地の日平均気温を推定した。

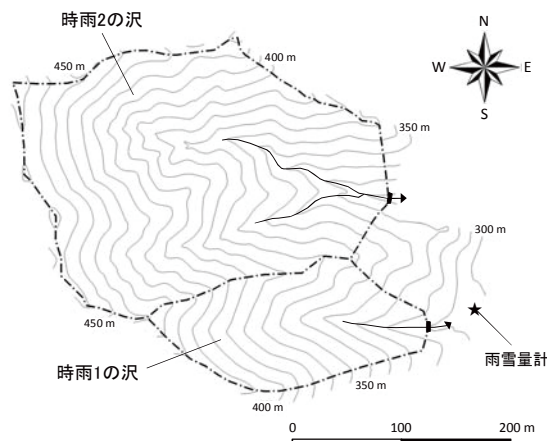


図-1 定山溪森林理水試験地の地形

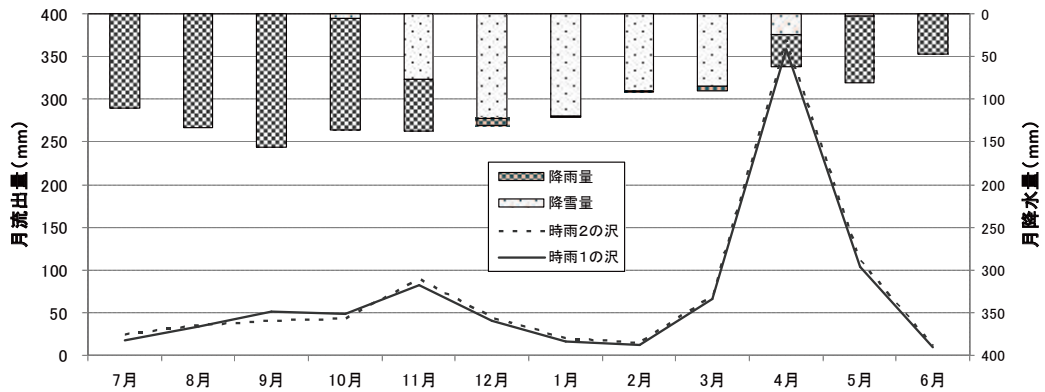
### 結果と考察

#### 1) 降水・流出の季節変化

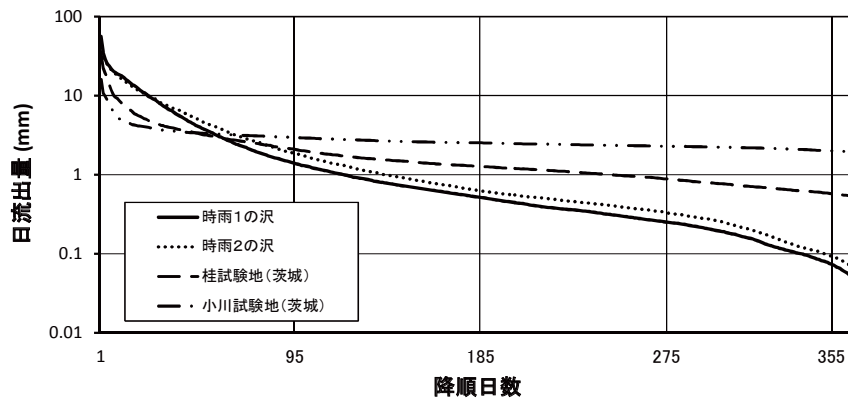
本試験地の平均的な季節変化傾向をみるため、1～12月の各月について月降水量および月流出量の平均を計算した。ただし、欠測期間を含む月は計算から除外した。基本的な特徴としては、降水量は夏～冬(7～1月)に多く、流出は秋と春の融雪期に多い傾向がある。月降水量、月流出量ともに6月に最小となり、水収支を考える際は7月～6月を1水年とするのが妥当である(図-2)。平均年降水量は1296 mmであり、うち冬季の降雪量は527 mmと推定された(年降水量の40.6%)。平均年流出量は時雨1の沢が840.1 mm、時雨2の沢が869.1 mmであった。特に、春の融雪出水は1ヶ月以上も続き、年流出量の半分以上がこの時期に流出していた。本州以南と比べると、明瞭な梅雨がないこと、春の融雪出水が極めて大きいことは北海道にある本試験地の大きな特徴といえる。また、秋から冬に降水量が多いのは、本試験地が日本海側にあるためと考えられる。

Toshio ABE, Katsumi YAMANOI, Yasuko MIZOGUCHI (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516)

Long-term runoff characteristics in the Jozankei Experimental Watershed



図一 2 定山溪森林理水試験地の平均的な月降水量(棒グラフ)および月流出量(折れ線グラフ)



図一 3 定山溪森林理水試験地と北関東の2試験地の平均的な流況曲線

2) 流況曲線の特徴

欠測のある水年を除いて平均的な流況曲線を求めたところ、時雨1の沢、時雨2の沢ともほぼ同じような変化を示し、日流出量の変動範囲は3オーダーに及んだ(図-3)。ここで、本試験と対照的に雪の少ない北関東の2流域との比較をおこなってみた。桂試験地(スギ・アカマツ林, 中古生層)は流域面積 2.3 ha, 小川試験地(落葉広葉樹林, 変成岩・花崗岩)は流域面積 58.4 ha であり、両者とも地形は緩やかである。日流出量データは、桂試験地では 2002~2007 年(阿部, 未発表)を、小川試験地では 2002~2004 年(1) を使用した。

出水時の流出量はいずれの流域も同オーダーであるものの、豊水量(95 日目)以下の流出量は、小川試験地>桂試験地>本試験地の順に少なく、渇水量(355 日目)では本試験地は 1~2 オーダー小さかった。渇水量は降水量のほか、地質によって異なり(第四紀火山岩・花崗岩>第三紀火山岩>中古生層・第三紀層)、また流域の傾斜が緩やかなほど多いことが知られている(15)。たとえば、寡雨地域にあり古生層に属する竜ノ口山森林理水試験地(岡山県)では日流出量 0.1 mm 未満の日はずらしくはない(19)。本試験地の石英

斑岩は半深成岩の一種であり、渇水に関する特性も深成岩の花崗岩と第三紀火山岩との中間ではないかと思われるが、本試験地の場合、地形が急峻で土層が薄いことも影響して渇水量が小さくなったものと考えられた。

一方、豊水量以上の範囲では、北関東の2流域の日流出量が 1~30 日目で急激に減少するのに対して、本試験地での減少はもっと緩やかであった。同様の傾向は積雪地域の他の流域でも認められる(7, 14)。非積雪地域では出水は降雨時のみで、降雨終了後は流出量が速やかに低減するが、積雪地域では長期の融雪出水があるため、流出量の多い日が多くなったものと考えられた。

3) 水収支

年流出量は年降水量の多い水年ほど増加する傾向が認められたが、年損失量は降水量によらずほぼ一定であり(図-4)、平均値は時雨1の沢で 438.9 mm, 時雨2の沢で 403.6 mm であった。ただし、時雨1の沢では降水量の少ない年に渇水が 2 度発生し、これらの水年については年損失量が他の水年よりやや少なかった。流出量は(年降水量-平均年損失量)に従った。時雨1の沢については、以前の研

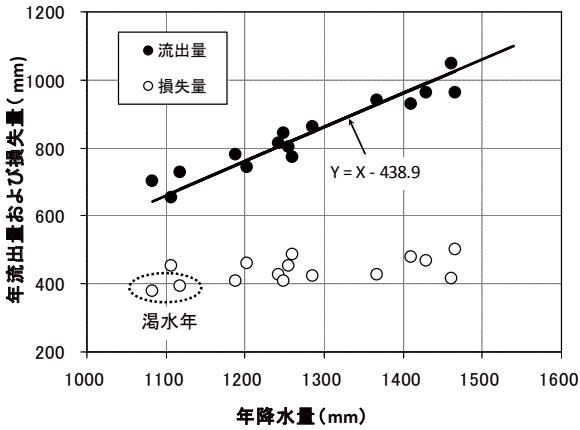


図-4 時雨1の沢における年降水量と年流出量、年損失量との関係

究で年損失量 377 mm と試算されていたが(10), 本研究ではその後再整理・補正したデータ(2, 3)を利用しており, 本研究の推定値の方がより正確と考えられる。なお, 時雨1の沢に比べて時雨2の沢の損失量は小さかったが, 流域奥部の降水量を観測していないため, 流域の大きい時雨2の沢では年降水量が過小評価になっている可能性も考えられる。

年損失量は, 水年の始まりと終わりで流域貯留量がほぼ同じと仮定して, 年蒸発散量と見なすことができる。年降水量と年損失量の間には, 渇水年を含めて解析すると弱い正の相関が認められたが( $r = 0.523, p = 0.045$ ), これは渇水時に蒸発散低下(18)が発生したためと考えられる(渇水年を除くと相関は認められない)。札幌の森林における年蒸発散量は, 熱収支的手法で求められた 722 mm(11), 定山溪ダム流域の水収支および熱収支から求められた 445~469 mm(8)という推定値がある。本試験地と定山溪ダムは直線距離で 1 km と近いが, 本試験地の損失量も後者の値に近く, 定山溪付近の年蒸発散量は 400~450 mm 程度であると考えられた。一方, 前者の値は本試験地より大幅に大きい, その理由としては札幌中心部と定山溪との標高や日当たり(斜面方位に起因)の違いなどが考えられた。

蒸発散量は全国的にみれば北方ほど小さいことが知られており(11), 他の森林理水試験地の年損失量は東北の釜淵で 381 mm, 瀬戸内の竜ノ口山で 795 mm, 南九州の去川で 1120 mm である(10)。本試験地の年損失量は同じ積雪地域にある釜淵試験地に近い。ただし, 年降水量は釜淵(2460 mm)よりずっと少なく, 寡雨地域の竜ノ口山(1291 mm)と同程度である。このため, 本試験地の年流出量は釜

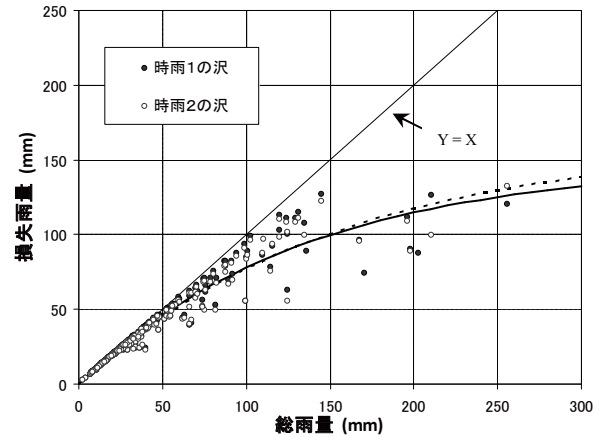


図-5 降雨イベント時の総雨量と損失雨量の関係 (実線と点線は時雨1の沢, 時雨2の沢の保留量曲線)

淵と竜ノ口山の間値となっている。

#### 4) 降雨時の流域貯留量

降雨イベント時の流域貯留量について, 文献(5)にしたがい日水文データを用いて解析した。解析には雪のない 6~10月のデータを使用した。降雨イベントごとに損失雨量(直接流出せず流域内に一時貯留される雨水)と総雨量との関係を調べてみると(図-5), 総雨量 60 mm 程度までは, 損失雨量は総雨量よりわずかに少ない程度であり, 直線的に増加する。しかし, 総雨量がさらに多くなると, 損失雨量の増加は徐々に頭打ちとなる。ここで, 保留量曲線を

$$L = S_b \cdot (1 - \exp(-k \cdot P))$$

$L$ : 損失雨量;  $P$ : 総雨量;  $S_b$ : 最大流域貯留量;  $k$ : 係数

とすると, 時雨1の沢では  $S_b = 147.9, k = 7.48 \times 10^{-3}$ , 時雨2の沢では  $S_b = 161.1, k = 6.53 \times 10^{-3}$  と計算された(最小2乗法による)。すなわち, 本試験地の最大流域貯留量は 150 mm 前後である。

上で求めた最大流域貯留量は国内の森林流域としては標準的な値であるが, 流域貯留量は地質により異なることが知られており, 総雨量 300 mm 時の貯留量は花崗岩・火山灰流域で 150~250 mm, 変成岩類流域で 130~200 mm, 堆積岩・火山岩流域で 50~150 mm と評価されている(5)。本試験地に分布する石英斑岩(半深成岩)はこれらのカテゴリーには属さないが, 本試験地の貯留量(総雨量 300 mm で 140 mm 程度)は花崗岩・火山灰流域と堆積岩・火山岩流域の境界付近にあることから, 半深成岩流域の水文特性も花崗岩流域と火山岩流域の間であると推察された。

### 謝辞

定山溪森林理水試験地の維持・管理には、北海道森林管理局の力添えがあった。また、本研究で用いた長期観測データは、森林総合研究所の諸先輩方の努力により得られたものである。これらの方々に感謝に意を表す。

### 引用文献

- (1) 阿部俊夫・藤枝基久・壁谷直記・久保田多余子・野口宏典・清水晃・坪山良夫・野口正二 (2011) 小川群落保護林における水文観測報告(2000年8月～2007年9月). 森総研研報 **10(4)**: 291-317.
- (2) 阿部俊夫・山野井克己・坂本知己・中井裕一郎・北村兼三・鈴木覚・清水晃 (2010) 定山溪森林理水試験地観測報告(1991年1月～2001年12月). 森総研研報 **9(2)**: 75-102.
- (3) 阿部俊夫・山野井克己・北村兼三・中井裕一郎・鈴木覚・坂本知己・高橋正義 (2011) 定山溪森林理水試験地観測報告(2002年1月～2007年12月). 森総研研報 **10(2)**: 109-129.
- (4) 土居繁雄 (1953) 五万分の一地質図幅「定山溪」. 北海道開発庁.
- (5) 藤枝基久 (2007) 森林流域の保水容量と流域貯留量. 森総研研報 **6(2)**: 101-110.
- (6) 井上聡・横山宏太郎・大野宏之・川島茂人 (2001) 地球温暖化にともなう国内の降雪量減少の河川への影響. 地球環境 **6(2)**: 259-266.
- (7) 金子智紀・武田響一・野口正二・大原偉樹・藤枝基久 (2010) 積雪地帯の近接したスギ人工林 3 小流域における流出特性の比較. 日林誌 **92**: 208-216.
- (8) 加藤晃司・中津川誠・新目竜一 (1999) 石狩川流域における水収支と蒸発散量の推定. 開土研月報 **553**: 2-13.
- (9) 北原曜・寺嶋智己・中井裕一郎 (1994) 側方浸透流量に占めるパイプ流量の割合. 日林誌 **76(1)**: 10-17.
- (10) 北村兼三・中井裕一郎・鈴木覚 (2003) 定山溪森林理水試験地の水収支. 森総研北支研究レポート **70**: 1-4.
- (11) 近藤純正・中園信・渡辺力・桑形恒男 (1992) 日本の水文気象(3)－森林における蒸発散量－. 水・水誌 **5(4)**: 8-18.
- (12) 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・水誌 **7(1)**: 421-427.
- (13) Sakamoto T., Takahashi M., Terajima T., Nakai Y. and Matsuura Y. (1999) Comparison of the effects of rainfall and snowmelt on the carbon discharge of a small, steep, forested watershed in Hokkaido, northern Japan. Hydrol. Process. **13**: 2301-2314.
- (14) 佐藤弘和 (1999) 広葉樹林流域における溪流流出特性に関する研究. 北林試研報 **36**: 21-36.
- (15) 志水俊夫 (1980) 山地流域における湧水量と表層地質・傾斜・植生との関係. 林試研報 **310**: 109-128.
- (16) 森林総合研究所 (2012) 森林理水試験地データベース. <http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/fwdb/main.htm> (参照 2012-11-19).
- (17) 塩崎正雄・真田悦子 (1990) 斜面土壌の保水能と水移動. 農林業における水保全・管理技術の高度化に関する総合研究第 1 回研究会報告(農林水産技術会議事務局・農業工学研究所): 1-11.
- (18) 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(4)**: 115-125.
- (19) 玉井幸治・後藤義明・小南裕志・深山貴文・細田育広 (2008) 竜ノ口山森林理水試験地観測報告(2001年1月～2005年12月). 森総研研報 **7(3)**: 125-138.
- (20) Terajima T., Sakamoto T., Nakai, Y. and Kitamura K. (1997) Suspended sediment discharge in subsurface flow from the headhollow of a small forested watershed, northern Japan. Earth Surf. Process.Landforms **22**: 987-1000.