

# 釜淵森林理水試験地における水源かん養機能の 長期的変動と今後の展望について

森林総合研究所東北支所 細田育広

## 1 はじめに

森林の水源かん養機能とは、大まかにいえば水流出の平準化（洪水と渇水の緩和）と水質浄化の二つの機能であり、高齡林の流域ほど機能が発揮されると考えられている（林野庁, 2002）。このうち水流出の平準化機能は、森林が荒廃・消失すると洪水や渇水が起りやすいという経験に基づき古くから信じられてきた。しかし一方、森林が水流出の総量を減らすことや洪水緩和機能に限界があることが観測から明らかとなり、さらに近年では渇水緩和機能に否定的な見解が示されている（日本学術会議, 2001）。こうした認識のズレや環境意識の高まりを背景として、近年の緑のダムをめぐる論争では森林の機能論における情動的・観念的側面が図らずも浮き彫りとなった（蔵治, 2003）。このため、森林の水源かん養機能の科学的な検証が改めて求められている。しかしながら 19 世紀末に始まった森林の水源かん養機能に関する研究は、伐採が水流出に与える影響の定量的評価を主な目的として取り組まれてきた。この目的には単純な林相の人工林が好適であり、複層林・針広混交林など、多様な森林管理のあり方を水源かん養機能の面で評価できるデータは現在でもきわめて乏しいのが実情である。また森林は長い時間スケールの中で成熟していく生態系であり、水源かん養機能もその過程で変動すると考えられるが、森林の再生から高齡林分に至る過程における長期的な水流出の実態は明らかではない（Hornbeck et al., 1993）。そこで針広混交林化が進みつつある釜淵森林理水試験地における水流出の長期的経過を概観し、東北地方の森林が有する水流出の平準化機能について実態と可能性を検討した。

## 2 方法

### (1) 対象地の概要と観測方法

釜淵森林理水試験地（北緯 38° 56′、東経 140° 15′、標高 166~251 m）は山形県北部に位置し、1939 年に逕流量の観測を開始して以来、多雪地帯にありながら通年観測を継続する世界的にも希少な試験地である。第三紀堆積岩類を基岩とし、施業経過が異なる三つの小流域が存在する（図 1）。年降水量は約 2400mm（その約 40%は降雪）であり、例年 1~3 月は 1m 以上の積雪で覆われる。植生はもともと広葉樹の天然林であり、20 世紀初頭の薪炭林利用の中でスギ・ヒノキの植栽が 1916 年まで部分的に行われた（丸山・猪瀬, 1952）。1 号沢はその後自然放置され、現在はブナ・ナラ類を主とする約 88 年生の混交林となっている。2 号沢は 1947・1948 年に皆伐後草地化され、1960 年に階段工が施工さ

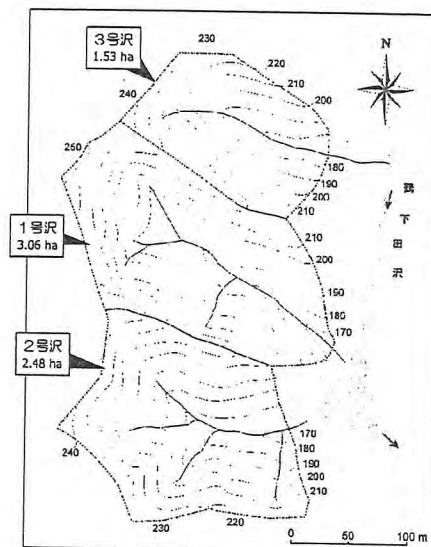


図 1 釜淵森林理水試験地

れるとともにスギが全面植栽された。現在は広葉樹の灌木斜面が部分的に広く形成されて混交が進み、1960年を起点とすれば、スギを主とする約44年生の混交林となっている。3号沢は1961年に観測を開始し、1964年に流域面積の半分に相当する流路沿いが伐採され、1970年に残りが皆伐されるとともにスギが全面植栽された。現在は広葉樹の混交が部分的に進み、1970年を起点とすれば、混交化しつつある約34年生のスギ林となっている（細田・藤枝, 2005）。

各試験流域の流出水量は、45° Vノッチ式の量水堰堤においてアナログ式水位計を用いて観測した水位から流出量を計算し、日単位で積分して日流出水量を求めた。日流出水量を水年（11月～翌年10月）で合計した値が年流出水量である。流出水量は流域面積で除してmm単位に換算した。降水量等の気象データは、試験流域近傍の気象露場において観測した（丸山・猪瀬, 1952、東北支場山形試験地, 1980、細田・藤枝, 2005）。

## （2）解析方法

水流出は降水量等の気象条件によって年々大きく変動するため、長期的な変動傾向から検討する方法が最も信頼できる。ここでは水年単位の値を用いて、年降水量に対する年流出水量の割合として得られる年流出率の長期変動傾向について検討した。さらに年流出率の変動傾向の詳細をみるため、流況曲線における流況値について検討した。流況曲線は1水年の日流出水量を大きい順に並べて得られる。その95、185、275、355番目の日流出水量は、それぞれ順に豊水流量、平水流量、低水流量、渇水流量と呼ばれる流況値である（高瀬, 1978）。ただし、流況値そのものは年々の降水条件の影響を強く受けること、小流域では年々の変動幅が大きく流況曲線の定点値では流出状況を十分に説明しえないことなどを考慮し、流況値流出量およびその流出率を用いた。流況曲線における1～95番目の流出水量の積算値を豊水流出量、96～185番目の積算値を平水流出量、186～275番目の積算値を低水流出量、276番目以降の積算値を渇水流出量とし、それらの値を年降水量で除した値が流況値流出率である（細田・村上, 2002）。さらに、流況値流出率を自然放置期間について線形回帰して得られる直線の係数を経年の変化率とした。ただし豊水流出量と渇水流出量の変化率が同じ場合、渇水流出量の方が相対的に大きな変動が生じていると考えられる。それを表現するため、変化率を回帰期間の平均値で除した相対変化率を求めた（細田・藤枝, 2005）。

## 3 結果および考察

水流出の平準化が完全に行われた場合、流況曲線は水平な直線となる。平準化が不完全であるほど、そのしわ寄せは渇水流量の低下という形で現れる。このため流況曲線における渇水流量は、平準化機能の検討にしばしば用いられる。志水（1999）によれば、渇水流量に影響を与える最大の因子は降水量である。流況曲線は降水量の配分で決まるため、これは当然のことといえるが、それ以外の因子では、植生に比べて地質条件の影響が圧倒的に大きいことが明らかとなっている。これは、水流出に与える森林の影響を検討する場合、地質条件ごとに議論しなければならないことを意味する。第三紀層を特徴づけるグリーンタフは東北地方に広く分布しており（藤本・柴田, 1966）、釜淵森林理水試験地は東北地方に広く共通する地質条件を有しているといえる。降水条件は、東北地方に広く分布する年降水量1200～2400mm、最大積雪深50～100cm（中西ら, 1983）に比べると多めだが、山地であることを考慮すれば東北地方では平均的といえよう。したがって東北地方の森林が有する水流出の平

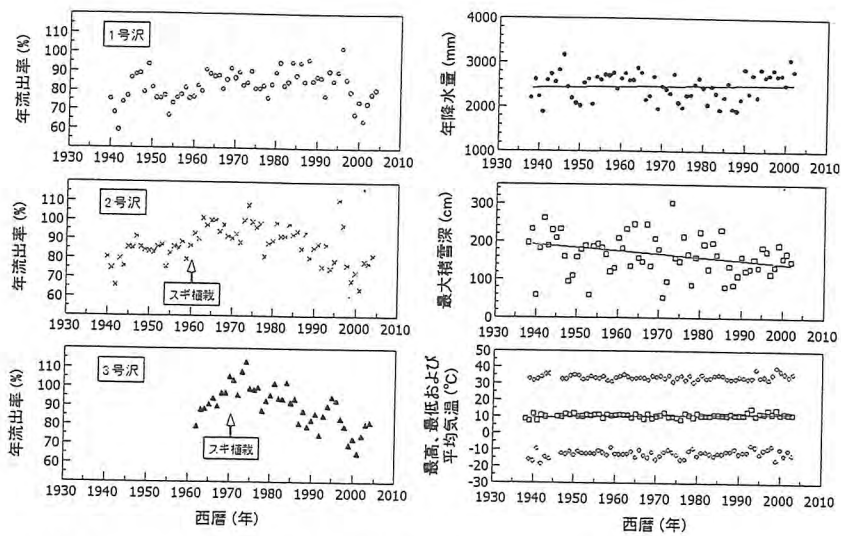


図2 釜淵森林理水試験地における年流出率および気象条件の経年傾向

準化機能を検討する上で、釜淵森林理水試験地は好適な試験地と考えられる。

釜淵森林理水試験地における年流出率は、1号沢では1939年の観測開始以来増加傾向、2・3号沢ではスギ植栽後の減少傾向が顕著である(図2)。流出率が100%を超えるのは、冬期間の降水量を過小評価しているためと考えられるが、全期間の観測精度はほぼ一定と仮定し特に修正はしなかった。各試験流域における年流出率の長期的傾向は、気象条件の長期的傾向から予測される変動傾向とは異なるため、主として植生の影響によるものと考えられることができる(細田・藤枝, 2005)。

流況値流出率の経年傾向は年流出率とほぼ同様の傾向を示すが、変化率は1号沢では平水流出量の増加傾向が他に比べて大きく、2・3号沢では豊水流出量の減少傾向が大きい。これを相対変化率にすると、1号沢では渇水側の増加傾向、2・3号沢では豊水と渇水の減少傾向が大きいことがわかった(図3)。大まかにいえば、豊水流出量の相対変化率の減少傾向は樹冠遮断量の増加に由来し、渇水流出量の相対変化率の減少傾向は蒸散量の増加に由来する。したがって渇水側の増加傾向は、蒸散量の減少傾向ととらえることができる。1号沢の林分材積は1942年の約60 m<sup>3</sup>/haから、2003年の450 m<sup>3</sup>/ha以上へと直線的な増加をしているが、立木密度は1950年の約5300本/haをピークに、2003年の約2500本/haに減少している(細田・藤枝, 2005)。こうした林分構造の変化を通じて、1号沢では長期的に蒸散量が減少し、平水以下の流出水量の相対変化率がプラス傾向になったと推察される。一方、1号沢の樹冠は十分に発達して林床を被覆してきたため樹冠遮断量が長期的に大きく変わらず、豊水流出量の相対変化率がほぼゼロになったと考えられる。一方、2・3号沢の相対変化率のマイナス傾向は、樹冠が発達しつつあり樹木の成長が盛んな状況を反映したものと考えられる。これらの結果は、森林の成熟段階に応じて水流出の平準化機能に差があることを示している。

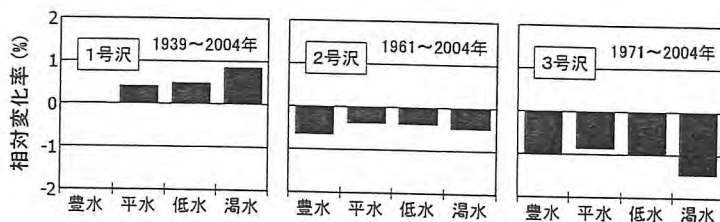


図3 各種流出水量の相対変化率

森林流域からの水流出過程は、植被による蒸散や降水の樹冠遮断を含む蒸発散機構と、地中に浸透した水が移動して河道に到達する流出機構に大きく分けることができる(谷, 1983)。このうち流出機構は土壌の構造や深さの影響が大きく、土壌が保全される通常の施業では大きく変化しないと考えられる。一方、蒸発散機構は皆伐すれば樹冠遮断量がゼロになるなど、施業によって短期間に大きな変化を生じさせることができる。森林の水源かん養機能は蒸発散機構と流出機構の両方によって発揮され、皆伐して無林地となった場合でも土壌が保全されていれば、森林の流出機構が残った状態での水流出の変化が生じることになる。このため従来の研究では、蒸発散機構が主に調べられてきた。森林の成熟過程における水流出の変化も、釜淵森林理水試験地の観測結果が示すように蒸発散機構の変動によって説明できると考えられる。オーストラリア南西部におけるユーカリ林流域で推定された林齢と水流出の関係によれば、山火事による森林消失から林齢 25~30 年まで水流出が急激に減少し、その後消失前の水流出のレベルに戻るまで約 170 年をかけて水流出が増加することが示されている(Kuczera, 1987)。この水流出の変動は、森林の再生過程での立木密度や林分葉量の変化に対応する林分蒸発散量の変動にほぼ一致すると考えられている(Vertessy et al., 2001)。日本でも、スギ・ヒノキの林齢と蒸発散量の関係について同様の考え方が示されており(Murakami et al., 1999)、釜淵森林理水試験地における林分構造の変化と水流出の関係は、主要樹種は異なるもののオーストラリアにおける例に類似したものになると予想される。自然放置開始年を林齢 0 年として 1~3 号沢の年流出率をひとつにまとめると図 4 が得られる(Hosoda, 2004)。この図から、釜淵森林理水試験地における森林再生過程では、林齢 30~40 年まで水流出が減少し、その後増加に転じると推察される。また、2 号沢は雪食と階段工施工により土壌が強く攪乱され、森林の再生が部分的に遅いことが空中写真から判読されるが、施業時に土壌が保全された 3 号沢との差は 10 年程度ということになる。この仮説が成立するかどうかは、釜淵における観測の継続によって近い将来明らかになると考えられる。

水土保持上望ましい森林施業のあり方がいくつか提唱されている(林野庁, 2002)。しかし最近、森林は置かれた状態で常に 100%の公益的機能を発揮しており、施業はマイナス影響の最小化に寄与しても、プラスの影響を与えることは無いとする考え方が示されている(中村, 2004)。この見方からすれば、施業の効果判定や持続性の検証は、自然状態の森林が発揮する機能との比較において実施されなければならない。ただし、これまでの理水試験が人工林を主な対象としてきたことを考えると、その取り組みは今後の課題といえる。その点、釜淵森林理水試験地では東北地方に標準的な林相の流域における長期間の水流出変動が、平準化傾向とともに明らかになりつつある。このまま自然放置状態での観測を継続することで、東北地方の森林が発揮する水流出の平準化機能のポテンシャルをいち早く明らかにできるものと期待される。

#### 謝辞

本原稿を作成するにあたり、藤枝基久博士には有益なご助言を頂い

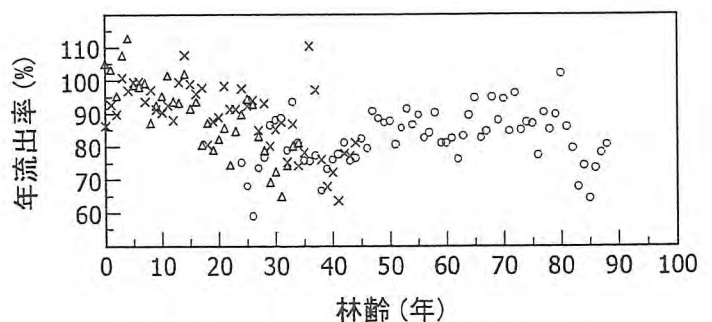


図 4 林齢(自然放置期間)と年流出率の関係

○: 1号沢、×: 2号沢、△: 3号沢

た。また川村紀子氏にはデータ整理や図の作成にご協力頂いた。ここに記し感謝の意を表します。さらに、釜淵における観測の精度維持に努力された小野茂夫氏をはじめとする先輩諸氏、長期観測にご協力頂いている東北森林管理局に対し、厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- 藤本治義・柴田秀賢編(1966) 地質学ハンドブック. 朝倉書店, 東京, 610p.
- Hornbeck, J.W., Adams, M.B., Corbett, E.S., Verry, E.S., Lynch, J.A. (1993) Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hydrology*, 150, 323~344.
- Hosoda, I. (2004) Changes on annual water yield following forest growth in small catchment of northeastern Asia monsoon area, Kamabuchi, Japan. *Forest and Water in Warm, Humid Asia (Proceedings of a Workshop of the IUFRO Forest Hydrology Working Group, Sidle, R.C., et al. (eds.), Disaster Prevention Research Institute, Uji, Japan, 274p. ISBN 4-9902142-0-X)*, 143~144.
- 細田育広・藤枝基久(2005) 釜淵森林理水試験地の流出水量、流出率、流況と経年傾向—2003年11月~2004年10月—. 平成16年度山地森林水土保全機能(釜淵地区)調査報告書, 東北森林管理局, 260p.
- 細田育広・村上亘(2002) 釜淵森林理水試験地60年間の水流出年々変動. 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, 241~246.
- Kuczera, G. (1987) Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalypt forest. *Journal of Hydrology*, 94, 215~236.
- 蔵治光一郎(2003) 森林の緑のダム機能(水源かん養機能)とその強化に向けて. 森林の公益的機能新解説シリーズ3, 日本治山治水協会, 75p.
- Murakami, S., Tsuboyama, Y., Shimizu, T., Fujieda, M., Noguchi, S. (1999) Variation of evapotranspiration with stand age and climate in a small Japanese forested catchment. *Journal of Hydrology*, 227, 114~127.
- 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.
- 中村太士(2004) 森林機能論の史的考察と施業技術の展望. *森林技術*, 753, 2~6.
- 中西 哲・大場達之・武田義明・服部 保(1983) 日本の植生図鑑〈I〉森林. 保育社, 208p.
- 日本学術会議(2001) 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について. 18期答申, 62~99.
- 林野庁(2002) 図説森林・林業白書(平成13年度版)第一部. 農林統計協会, 5~90.
- 志水俊夫(1999) 山地流域の水源かん養機能の評価. 東北支所たより, 450, 1~4.
- 高瀬信忠(1978) 河川水文学. 森北出版, 66~67.
- 谷 誠(1987) 水源かん養機能の解明に向けて. *水利科学*, 177, 35~61.
- 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). 林業試験場研究報告, 311, 129~188.
- Vertessy, R.A., Watson, F.G.R., O'Sullivan, S.K. (2001) Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management*, 143, 13~26.