

流出量観測データは流域特性をどのように反映しているのだろうか？

ー石川県林業試験場森林理水試験地における観測データと

他地域試験流域のデータとの比較ー

高瀬恵次*・小倉 晃

流出量の観測は、様々な水に関わる計画・設計や気象変動など諸環境の変化が水循環に与える影響を評価する上で重要である。とくに、谷の収斂する地点で観測される流出量データは、その集水域内で生ずる流出特性だけでなく土壌特性、さらには蒸発散特性など多くの流域特性を反映する貴重なデータである。本研究では、筆者らが観測を行ってきた4流域の流量データを解析し、それぞれの流域の特性と比較・検討した。その結果、石川県林業試験場の流域は雨水保留能が大きく、整備された人工林であることから流況も安定していることが示された。しかし、観測堰以外からの地下水流出の有無、積雪・融雪期の流出特性については今後さらなる検討が必要である。

キーワード：水収支、蒸発散、直接流出量、水循環モデル、森林流域

I. はじめに

流出量の観測は、様々な水に関わる計画・設計のみならず気象変動をはじめとする諸環境の変化が水循環に与える影響を評価する上で重要である。とくに、谷の収斂する地点で観測される流出量データは、その集水域内で生ずる地表、中間、地下水流出特性だけでなく土壌の浸入・保水特性、さらには蒸発散特性など多くの流域特性を反映する貴重なデータである。石川県農林総合研究センター林業試験場（以下、林業試験場）では2010年から気象露場や森林理水試験地を設置し、気温をはじめとする各種気象データと試験流域からの流出量の観測を行っている。そこで本研究では、林業試験場における観測データと筆者らが観測を行ってきたいくつかの流域の流量データを解析し、それぞれの流域特性と比較することにより林業試験場森林理水試験地の特徴を検討したので以下に報告する。

II. 観測流域の概要

解析対象とした流域の概要を表-1に示す。これらの流域は、諸水文調査のために設けた調査流域で、谷の収斂した部分に堰を設置して自記水位計により

観測を行っている。

A 流域は、石川県白山市三宮に位置し、50～70年生のスギを主とする人工林で2011～2012年に間伐が行われている。土壌調査によれば表層土壌(A₀、A、B層)の厚さは1m程度である。流出量の観測は2010年に開始されたが、2012年までは計器の異常等による欠測が多く、本論では2013年以降のデータを使用した。

B 流域は滋賀県信楽に設けられた流域である。コナラ、エゴノキ、ウリカエデなどの高木性落葉広葉樹の下に、ヤブツバキやヒサカキが繁茂している。表層土壌厚は30cm程度である。

C 流域は愛媛県大洲市に位置し、スギ、ヒノキの人工林が52%を占め、残りは低木のヒサカキ、ヤブツバキ(常緑樹)やクヌギ、コナラの落葉樹が混在している。人工林の林齢は、スギが45～60年生、ヒノキが10～37年生で、ほとんどが未整備となっている。人工林地の表層土壌厚は30cm程度であるが、B流域に比べA₀、A層が薄い。

D 流域はC流域の北およそ十数kmの位置にあり、国営農地造成事業により造成された畑地が流域の52%を占める。造成畑では冬に白菜、夏にスイカが

表-1. 解析に用いた試験流域の概要

流域名	県名	土地利用	面積(ha)	表層地質
A	石川	人工林(スギ・整備林)	3.08	安山岩質火砕岩
B	滋賀	広葉樹	2.45	花崗岩
C	愛媛	人工林(スギ、ヒノキ・未整備林)、広葉樹	21.00	砂岩粘板岩互層
D	愛媛	林地(針葉樹・48%)・造成畑地(52%)	11.70	黒色片岩・黒色千枚岩

*石川県立大学(客員教授)

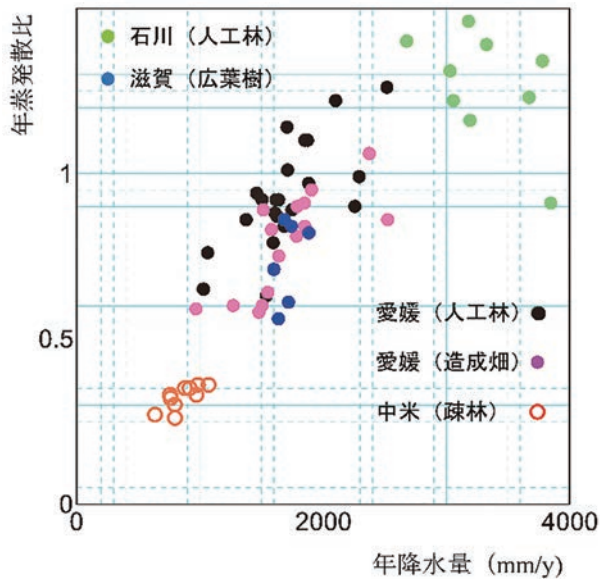


図-1. 年降水量と年蒸発散比

主に栽培されている。残りはマツ、スギを主とする山林地となっている。

III. 年蒸発散特性

谷の収斂した地点に観測堰が着岩するように設置された流域で、流量観測点以外からの流出および流域外からの流入が無視できる場合には、年蒸発散量は次式によって算定できる。

$$Et = R - Q + \Delta S \quad (1)$$

Et : 年蒸発散量 R : 年降水量

Q : 年流出量

ΔS : 流域内貯留量変化

本論では、暦年を対象として(1)式によって、年蒸発散量を求めた。図-1には年降水量と年蒸発散比(=年蒸発散量/年可能蒸発量)の関係を示す。年可能蒸発量については、A流域では流域に近接する気象露場での気象データを用いたペンマンの蒸発位(アルベド0.05)、B流域では流域から数km離れたアメダスデータを用いたペンマンの蒸発位、C流域とD流域では流域に近接する集落で観測された小型蒸発計蒸発量を採用した。なお、図-1には、中央アメリカ(ホンデュラス共和国)に位置する半乾燥地流域(疎林)での結果を併記している(高瀬・佐藤 1998)。ここでの可能蒸発量は、流域に近接する試験圃場での大型蒸発計蒸発量である。

このように、蒸発散比は降水量とともに増加し概ね2,500mm程度で一定となる傾向が見られ、蒸発散が流域の乾湿の影響を強く受けることを反映してい

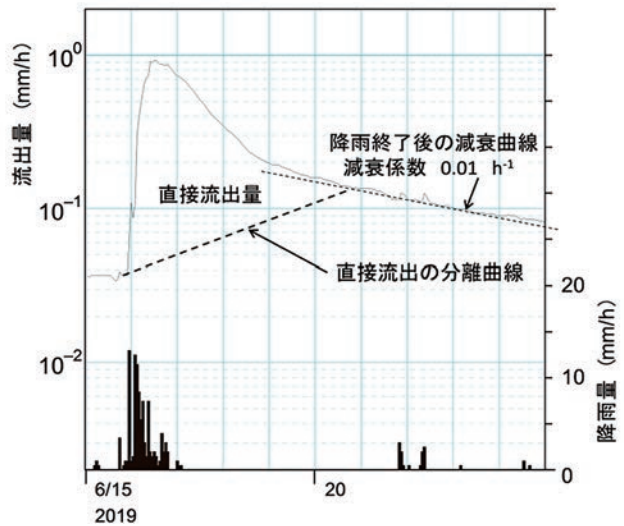


図-2. 直接流出量の分離例

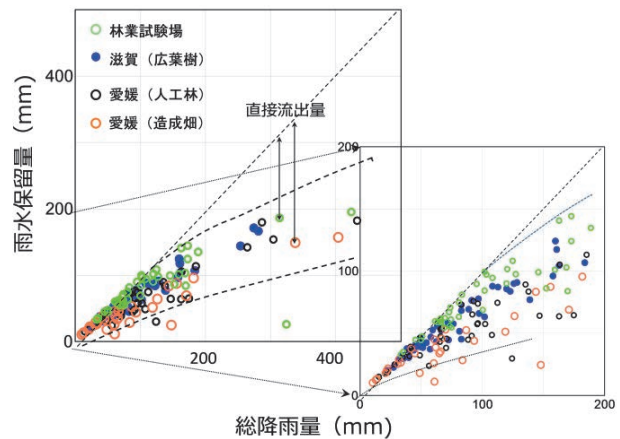


図-3. 総降水量と雨水保留量の関係

る。表-1に示した4流域を見ると、年降水量の減少(=流域の乾燥)に伴う蒸発散比の低下はB流域(広葉樹)とD流域(造成畑)で大きく、A流域(人工林・整備)とC流域(人工林・未整備、広葉樹)で小さい傾向にある。特に、年降水量が3,000mmを超えるA流域の蒸発散比はほとんどの年で1を超え、可能蒸発量を上回る蒸発散が生じていることを示しているが、観測堰以外から地下水が流出している可能性もあり、後に述べる水循環モデルによる解析結果および可能蒸発の定義と併せて今後の課題とする。

IV. 直接流出特性

直接流出量とは、主として降雨中に生ずる表面流出や早い中間流出からなり、洪水災害や土砂崩壊などに関連する重要な指標である。降雨終了後の流出量は、それぞれの流出成分に応じた固有の減衰率で減少することが知られている。そこで、本論では、図-2の直接流出量の分離例に示すように降雨終了後数時間から数日後に現れる減衰率 0.01 h^{-1} を採用して、

降雨後にこの低減曲線が出現する点と流出量の立ち上がり点とを直線で結ぶ分離線によって直接流出量(QD)を求めた(高瀬ら 1998)。

図-3には総降雨量(R)と雨水保留量(R-QD)の関係を示す。このように、どの流域も総降雨量の増加とともに直接流出量は増大する傾向にあるが、その関係は降雨強度、降雨継続時間、流域の初期湿潤状態などの降雨イベントの特性だけでなく、流域によっても異なる。このうち総降雨量に対する直接流出量の関係を流域間で比較すれば、D流域(造成畑地)が最も大きく、C流域(人工林・未整備、広葉樹) < B流域(広葉樹) < A流域(人工林・整備)となるような傾向を読み取ることができる。D流域の造成畑地では耕作道やビニールマルチなどの不浸透域が直接流出量を増大させるのに対して、A流域の林業試験場のように整備された人工林では降雨時の雨水を表層土壌が保水し、下層へと浸透させるためであると考えられる。

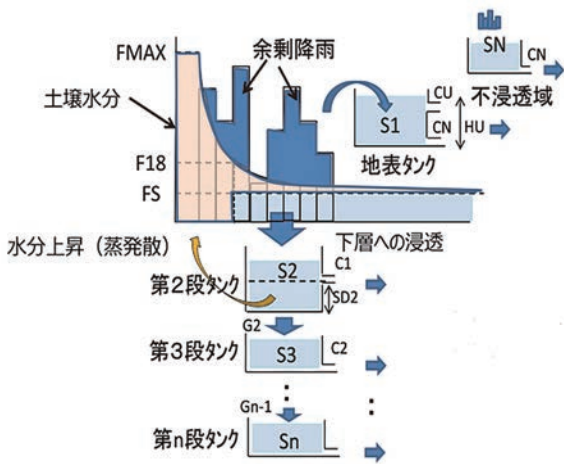


図-4. 水循環モデルの概念図

表-2. 水収支モデルによる年蒸発散比

年降水量 (mm)		1735.50	1032.00
可能蒸発量 (mm)		910.40	1150.90
蒸 発 散 比	A (林業試験場)	0.98	0.82
	C (愛媛人工林)	0.95	0.80
	D (愛媛造成畑)	0.93	0.79
	B (滋賀・広葉樹)	0.74	0.62

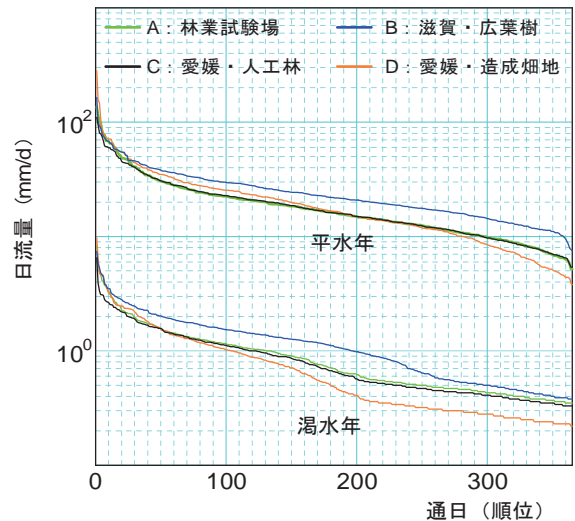


図-6. 流況曲線の比較

V. 水循環モデルによる流出特性

最後に、図-4のような水循環モデルによりそれぞれの流域の流出特性および蒸発散特性を評価した。このモデルでは地表の浸入特性と土壌水分の変化をホートンの浸入能方程式で表現し、表層土壌の保水性や土壌水分の大小に応じて蒸発散比が変化する現象がモデル化されている(竹下ら 2003)。本論では、それぞれの流域において実測流量と計算流量の相対誤差が最小となるようにモデルパラメータを同定し

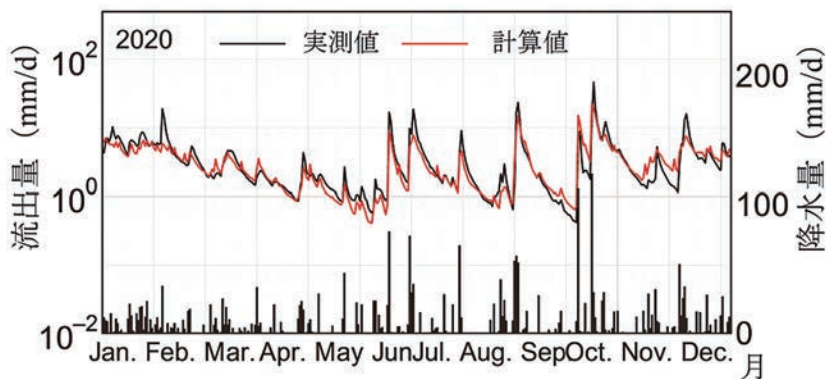


図-5. 水循環モデルによる計算流出量と実測値の比較例 (A流域: 石川県林業試験場)

注) 冬～春の積雪・融雪期の計算は、降雨として入力しているため、この期間の再現性は劣る。

た。その結果、いずれの流域においても平均相対誤差は30%程度で、良好な再現性を得ることができた。図-5には水循環モデルによるA流域での2020年の計算流出量と実測値の比較例を示す。ただし、A流域（石川県）では冬から春に積雪・融雪があるが、今回の計算では全て降雨として扱ったので、積雪・融雪期の再現性はやや劣る。その後、年降水量1735.5mmを平水年、1032.0mmを渇水年とし、それぞれの年の日降水量、日可能蒸発量データを用いて、各流域における流出量を計算した。表-2には、計算により得られた年蒸発散比を示す。年蒸発散量は $B < D < C < A$ となり、いずれの流域も渇水年では蒸発散比がかなり減少することが示された。また、図-6には流況を示す。流況の安定度は $D < B < A < C$ となり、広葉樹、人工林（整備）、人工林（未整備）、造成畑の順に流況の安定することが示された。

以上のように、流域特性に応じて流域水循環の諸要素が異なるので、それぞれの流域の特性を正確に

把握することが水資源の保全にとって重要である。なお、石川県林業試験場は、土壌厚が深くいために雨水保留量が多く、整備された人工林のため流況も安定する流域と考えられる。しかし、観測堰以外からの流出の有無、積雪・融雪期の流出特性については課題があり、今後とも流域水循環の諸要素の特性を正確に把握する必要がある。

引用文献

- 高瀬恵次・洪林・佐藤晃一・黄介生（1998）特性の異なる流域の雨水保留量に関する水収支的考察．農業土木学会論文集 197： 65-70
- 高瀬恵次・佐藤晃一（1998）乾季・雨季を伴う中米半乾燥地域と我が国寡雨地帯における流域蒸発散特性．水文・水資源学会誌 11（7）： 694-701
- 竹下伸一・高瀬恵次（2003）蒸発散サブモデルを導入した長期間流出モデルの開発．水文・水資源学会誌： 16（1）： 23-32