

美ヶ原高原南斜面の水文量変動特性と水収支

星川和俊*・松田松二*

はじめに

「水」は地域の自然、社会、人文的環境を形成する基本的な因子の一つである。また、これは熱とともに地域の物理的な保存量でもある。このため、環境因子としての水、つまり降水量、河川流量、蒸発散量等の水文量の循環特性を把握することは、地域環境の解明に対して、

必須なこととなる。

三城地域、即ち美ヶ原高原南斜面の水文的特性は、我国の多くの山地小流域での諸特性とほぼ類似したものであると考えられる。しかし、これらの一般的な特性の中でも、未解決の問題も数多い。例えば、植生、土地利用状況などの個々の地域の独自性を無視して、その地域の水文特性は語れない。特に、三城地域の場合、美ヶ原南

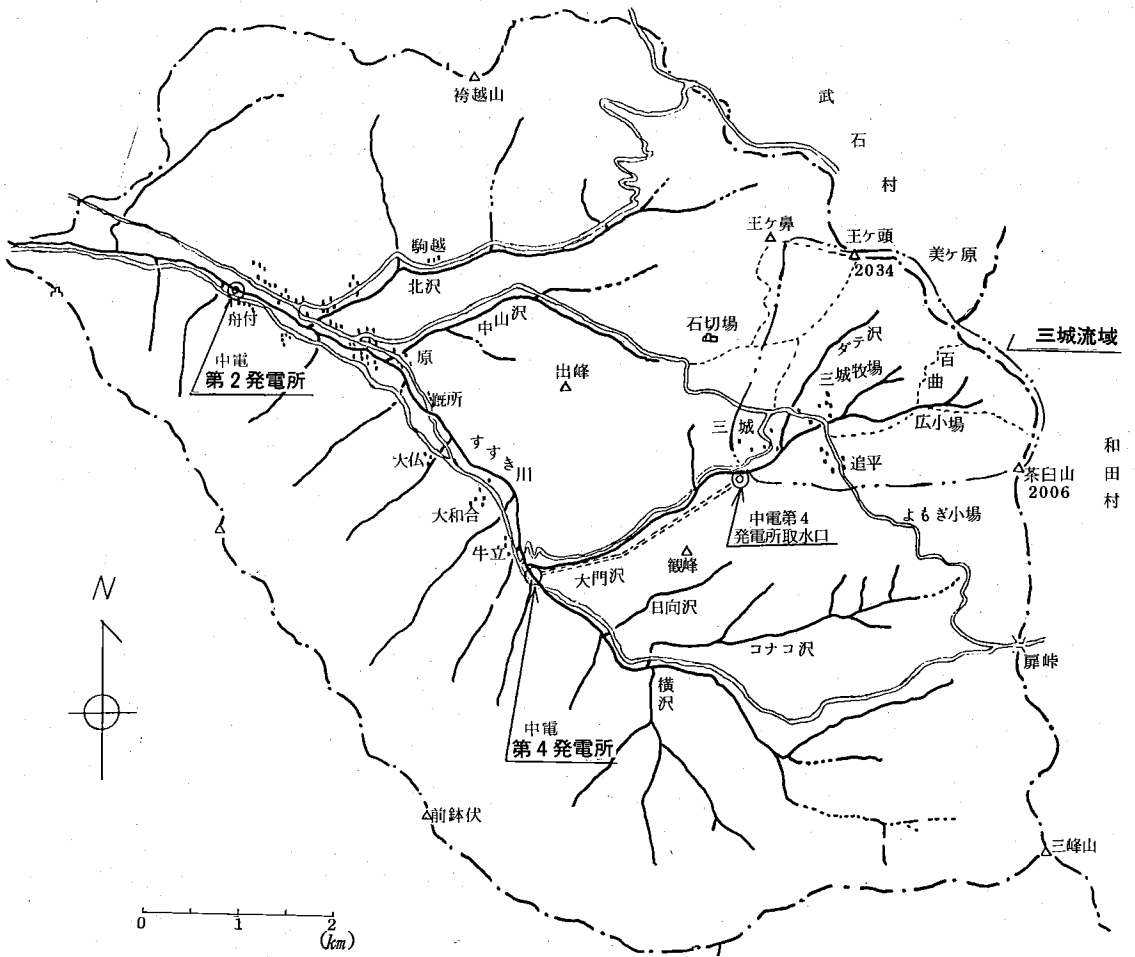


図1 薄川水系概念図

* 信州大学教養部環境科学研究室

西斜面のガレ場からの土砂生産が活発であり、環境保全（防災）の観点からも、本地域の水文特性の解明が急務である。

このような立場から、本報告では三城地域を含む薄川水系の水文データによって、その時系列変動特性といくつかの仮定のもとに当該地域の水収支について、若干の考察を試みた。

なお、本報告で使用した水文データの多くは、中部電力松本電力所の御好意により、提供頂いた資料である。ここに記して、お礼申し上げます。

I. 水文環境の概要

1. 地域の概要

三城地域は美ヶ原高原南斜面の山腹に位置する美しい自然と、その景観をもつ谷である。本地域は薄川水系上流の支川、大門沢の流域にあたり、北緯 $36^{\circ} 11'$ 、東経 $138^{\circ} 7'$ に位置する。そして、ここは美ヶ原台地から松本市側にフクロ状となっており、その中を大門沢とその支沢であるダテ沢が流れている。この研究で対象とした三城地域の流域面積は約 580 km^2 である。この流域を含む薄川の水系概念図を図 1 に示す。

本地域の地質は、主に安山岩によって形成されている。その中で、ダテ沢上流側は風化、侵食が活発であり、土砂崩壊がさかんに進行している。そのため、ダテ沢には砂防ダム、急流工等の治水工物物が連続して作られている。また、植生としては、美ヶ原の草原から、谷に沿ってカラ松の植林、ダケカバなどの自然林が混在している。流域全体としてみると、比較的多様な植生と考えられるが、未だ十分に発達した植生には至っていない。

一方、この流域内では、第二次大戦後に入殖した人達が集落を形成しており、牧畜、畑作等の土地利用を行な

っている。更に、本地域は松本市民のための避暑地でもあり、バンガロー、林間学校、県民の森などの施設が散在している。しかし、これらの土地利用や観光的施設は流域全体に比して小面積であり、まだ多くの自然環境を残す山林地流域である。

なお、この地域の地形的環境特性については、本報告書の「美ヶ原高原南斜面の地形環境」を参照されたい。

2. 水文気象概要

(1) 水文観測

本報告で使用した水文観測データは、主に降水量と河川流量である。この中で降水量および気温等の気象データは、本流域南西端の白砂橋近くの中部電力薄川第 4 発電所取水口気象観測所（以下、P 4 観測所と略す）の値を利用した。一方、河川流量に関しては、当該流域つまり大門沢の実測結果を得ることができなかったため、下流にある中部電力薄川第 2 発電所（松本市舟付地点、以下 P 2 と略す）の流量記録を利用した。P 2 地点の流域は、三城地域に隣接する地域を含むため、面積にして約 31.7 km^2 ある。しかし、P 2 地点は三城地域に近く、ほぼ三城流域の水文特性と似た特性をもっていると考えられる。そのため、河川流量の分析は、主に P 2 地点流量を用いて行なった。以上の二つの水文観測地点の位置は図 1 に付記した通りである。なお、後述するように、中部電力第 4 発電所の発生電力量から、逆算した大門沢の流量データも利用した。

(2) 水文気象概況

P 4 観測所における各種気象データから、三城地域の気象概況をまとめたのが、表 1 である。本地域は、松本市街地より標高にして、約 700 m 高いため、松本市街に比べ降水量、降水日数が多いが、逆に気温は若干低い値

表 1 三城気象概要

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
標準気温(℃)	-5.5	-4.6	-0.8	7.0	12.0	15.0	19.5	20.1	15.2	9.1	2.7	-2.5	年平均降水量 1403.9 mm
日最高気温の平均(℃)	6.9	9.4	12.4	20.8	23.8	25.5	27.9	28.9	25.2	20.6	16.3	8.2	年降水量最大値 1719.2 mm (S34)
日最低気温の平均(℃)	-15.3	-16.6	-14.2	-8.1	-2.5	5.2	9.4	10.3	3.9	-2.5	-8.7	-13.2	年降水量最小値 1049.2 mm (S48)
月平均降水量(mm)	51.7	66.0	103.8	141.8	113.8	176.3	160.2	137.8	185.4	101.1	63.2	55.9	最大連続降水量 354.0 mm (S36.6.23~36.6.30)
月平均降水日数	15	13	15	16	17	17	17	15	16	11	12	14	最大日降水量 135 mm (S46.9.6)
													最大時間降水量 31.0 mm (S36.6.28.3h)

- 1 月別資料については、主に昭和 46 年 1 月～昭和 53 年 6 月の資料によった。なお、標準気温とは 9 時の定時観測値である。
- 2 備考欄の極値データは、既応 30 年の観測データによった。

となっている。また、この地域は一般に12月初旬から4月初旬にかけ、降雪があり、その積雪の状態は標高によって大きく変化しているようである。

II. 水文量時系列変動特性

1. 流量の年周期

水文量は一般に、1年周期が卓越すると考えられる。しかし、近畿、瀬戸内海沿岸の地域では、梅雨及び台風

による降水量が年毎に不安定であり、河川流量の1年周期が不安定となる場合がある。一方、北海道、東北などの多雪地域では、融雪期間がかなり長期に渡るため、河川流量が安定している。この結果、年周期が卓越してくる⁽¹⁾。そこで、本流域での河川流量の年周期を検討するため、P2地点の日流量データから自己相関係数を算定した。その結果は、図2に示した通りである。この図によれば

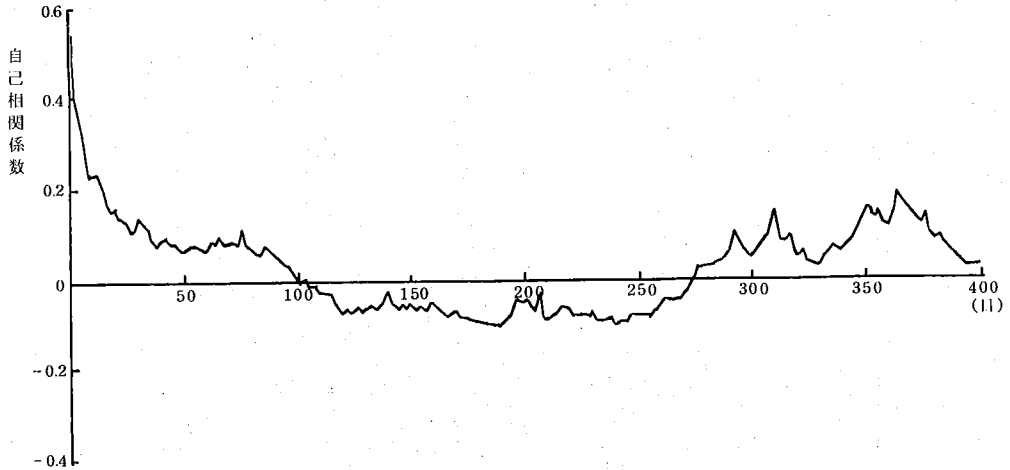


図2 日流量コレログラム

1年の周期性らしきものは認められるが、明確な1年周期が卓越するとは言い難い。この結果は、丁度上述した二つのパターンの中間的なパターンとなっているようである。

一方、年周期の安定性に関する変動成分を検討するため、P4観測所の月降水量とP2地点の月流量データから、各々の月別平均値、ならびにその標準偏差を算定した。その結果が図3と図4である。これらの図からも、融

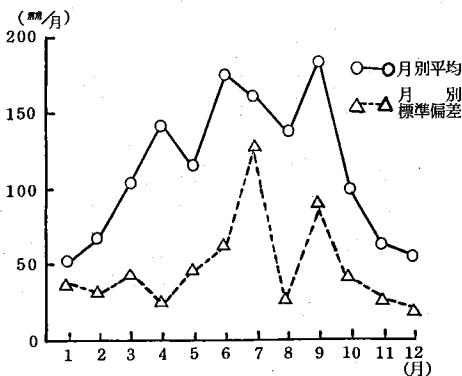


図3 降水量の月変動特性

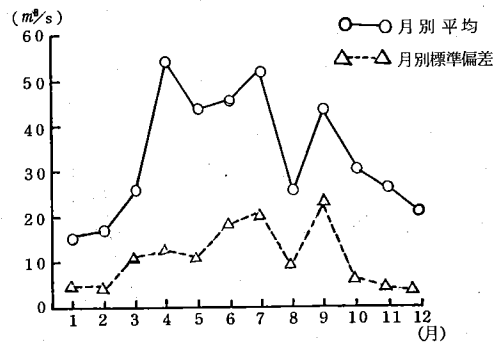


図4 河川流量の月変動特性

雪期、梅雨期、台風期の降水量と流量が平均して多いことがわかる。さらに、近畿地方等の河川に比べると梅雨期、台風期の流量もかなり小さい⁽²⁾。これらのことから、本地域の河川流量の年周期は、多雪地帯ほど安定していないが、梅雨、台風の影響を直接に受けるほど不安定でないと推定される。

2. 季節変動特性

つぎに、季節的な変動特性を分析し、水文時系列の季節分離を行なうため、二次以下の統計的モーメントを算出した⁽¹⁾。

ここで、水文時系列は、(1)式で表わされるものとする。

$$X_i(t) = \xi_i(t) + \eta_i(t) \quad (1)$$

$X_i(t)$: i 年 t 日目の降水量および河川流量

$\xi_i(t)$: 降水量, および河川流量のトレンド成分

$\eta_i(t)$: $\xi_i(t)$ からの偏差であり, 季節変動成分

はこの項で表わされるものとする。

(1)式からトレンド成分の影響を除去するため, (2)式のような新しい時系列を考える。

$$Y_i(t) = X_i(t) / \xi_i(t) = 1 + \eta_i(t) / \xi_i(t) \quad (2)$$

この新しい時系列 $Y_i(t)$ に対し, 30日間, 2日おきの移動平均と移動標準偏差は次のように定義される。

$$\bar{Y}_i(\tau+15) = \frac{1}{30} \cdot \sum_{t=i}^{i+30} Y_i(t+\tau) \quad (3)$$

$$S_{Y_i}(\tau+15) = \sqrt{\frac{1}{30} \cdot \sum_{t=i}^{i+30} (Y_i(t) - \bar{Y}_i)^2} \quad (4)$$

$$\tau = 0, 2, \dots, 2n$$

(1), (2), (3), ならびに(4)式から, 昭和47年~昭和49年のP4降水量とP2流量の移動平均と移動標準偏差を算定した結果が図5~図8である。

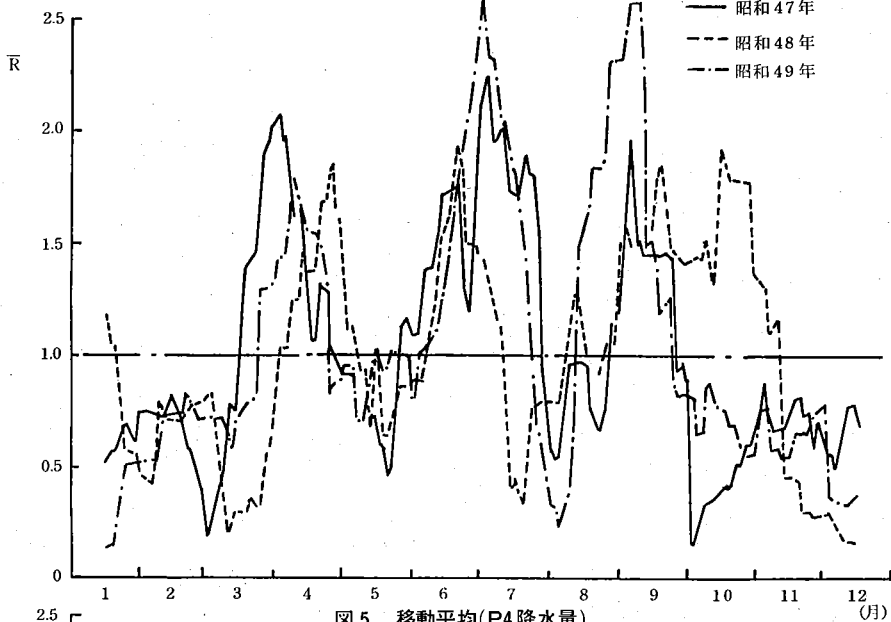


図5 移動平均(P4降水量)

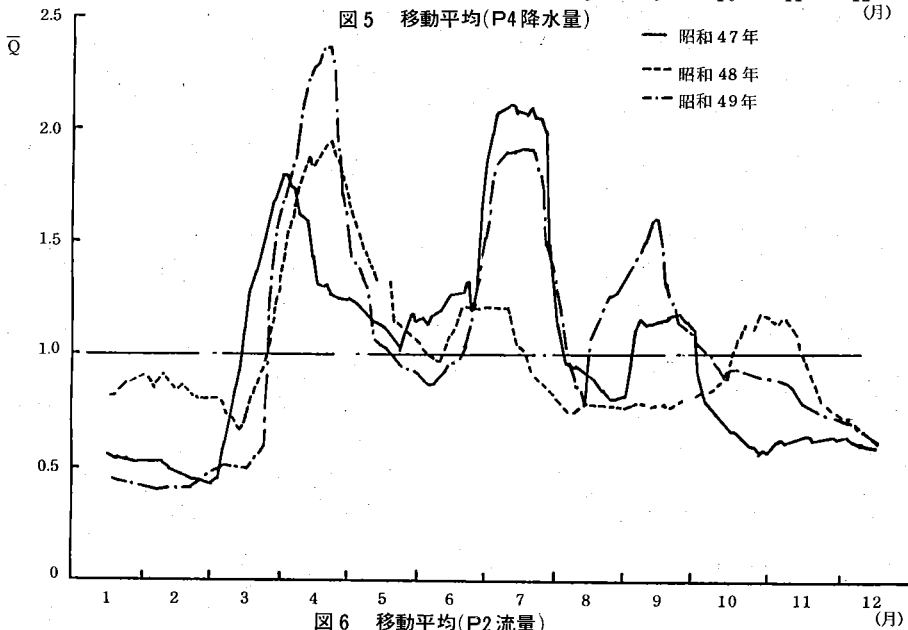


図6 移動平均(P2流量)

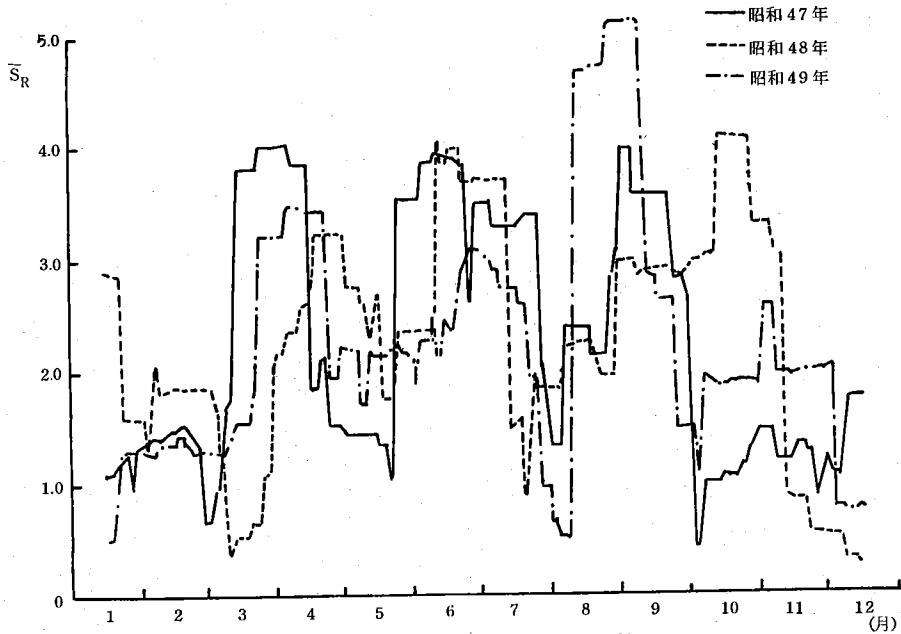


図7 移動標準偏差(P4降水量)

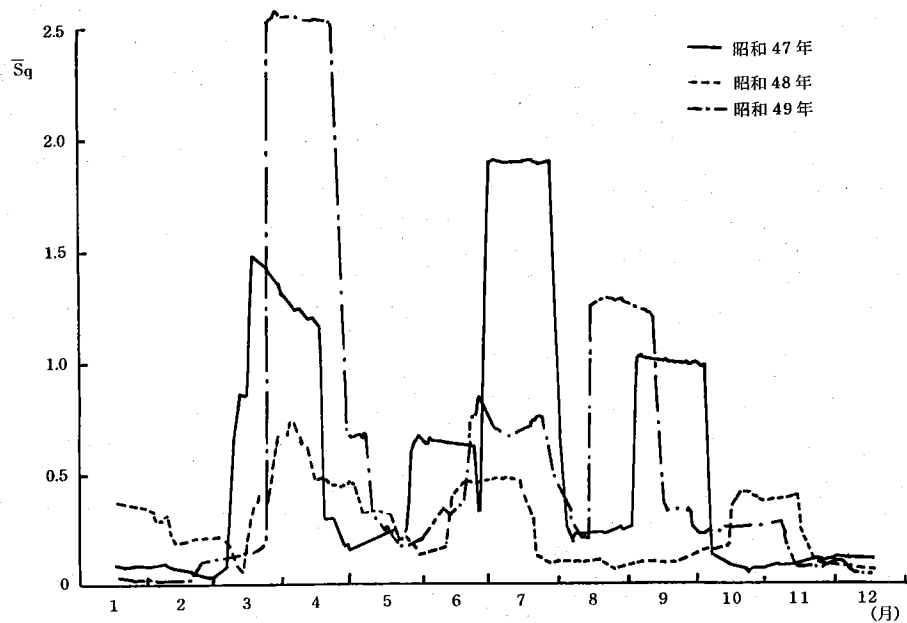


図8 移動標準偏差(P2流量)

さて、(1)と(2)式より、もし季節変動成分がないとした場合、即ち $\eta_i=0$ の時 $Y_i(t)=1$ となる。このため、 $\bar{Y}_i(t+15)=1$ と交差する時点は、水文量の季節的な分岐点の指標となると考えられる。図5と図6の結果をみると、各年ごととの季節変動には多少の相違がある。

なかでも昭和48年の結果は、降水量と流量ともに10月11月の変動が大きく、他の年に比べて特異なパターンとなっている。

しかし、平均的に降水量は3月中旬～5月初旬、6月初旬～7月下旬、8月中旬～9月下旬、ならびにその他

の10月～3月初旬の季節に分離できるであろう。一方、河川流量も大きく、3月中・下旬～8月初旬、8月下旬～9月下旬、10月～3月中旬に分離できるであろう。

III. 流出系の特性

1. 長期流出

本流域では、12月から4月にかけて降雪がある。そのため、季節ごとの流出特性には、それぞれ大きな相違がでてくることが予想される。ここでは、季節変動の影響が少ないと考えられる1年単位の降水量と河川流量との関係を調べた。図9はP4観測所の年降水量とP2地点

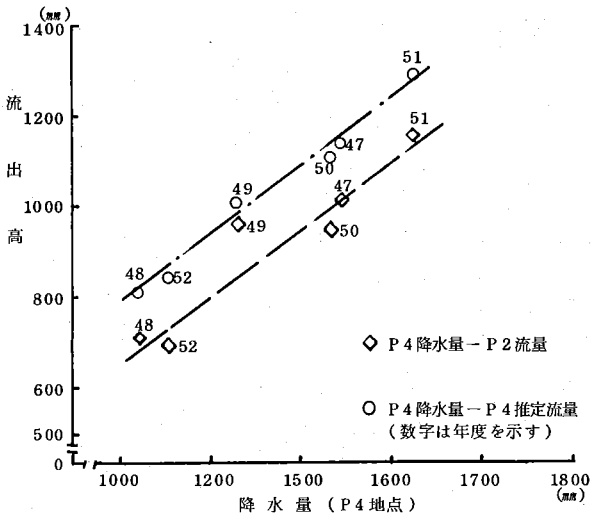


図9 年降水量と年流出高の関係

での推定年流量の関係をプロットしたものである。この推定流量は、P4の発生電力量から逆算された値である。即ち、P4の発電は、大門沢P4観測所の近くの頭首工からの取水によって行なわれている。そして、その取水は、融雪期、梅雨期、台風期などの大出水時、あるいは取水工の工事、掃除等で取水出来ない場合を除けば、ほとんどの河川流量を利用している。そのため、この量は三城流域の河川流量の一応の目安となる。

表2 高水流量の季節別発生頻度

季節	3月～5月 (融雪期)	6月～7月 (梅雨期)	8月～10月 (台風期)	11月～2月 (秋冬期)
高水流量の発生頻度(日)	49日	65日	24日	9日

ここで、高水流量とは、ある一定流量(2.2 m³/S)以上のものと定義している。また、この表は昭和46年～昭和51年の流量データにより作成した。

図9の結果をみると、P4流量とP2流量ともに、比較的直線上によく合っており、1年ごとの流出特性がほぼ安定していることがわかる。さらに、これらの結果から年流量/年降水量、つまり年間の流出率を求めてみるとP2の地点で0.7程度、そして三城地域で0.8⁽³⁾の弱の値となった。これらの値は、他の山林地での実測値に比べるとかなり大きな値となっている。この原因は、本流域が比較的大きな流域にもかかわらず、降水データを1点でしか利用できなかったためと考えられる。更に、本流域には高度差が大きくある点に注目すると、P4観測所の降水量だけでは、地域雨量としてアンダーエスティメートとなった可能性が大きい。

2. 短期流出

前節で述べたように、本流域の季節ごとの降水量と流量の直接的な対応関係は少ない。特に、標高2000mの積雪地帯を背後に控えているため、3月～5月の融雪期は、その期の降水量に比べて、河川流量の方が多くなる場合もあろう。さらに、降水量が少ない11月～2月の冬期においても、安定した流況を呈することが多く、計算上では当該月の降水量以上の流量がある時期も存在した。

一方、一洪水に対する流出の考察が必要であるが、これを解析するための時間単位の水文資料の入手が、現状では不可能であった。そのため、三城地域の洪水流出について、P4観測所の管理人から聞き取り調査を行なった。その結果によれば、最近での最大の洪水は昭和47年9月に起きた台風時の出水であり、目測によるとP4取水口地点で最大約7 m³/sに達したとの事である。更に、ほとんどの洪水は融雪、梅雨、台風の各期に集中しそれらの洪水到達時間は約30分以内であることがわかった。

次に、高水の発生時期を調べるため、P2地点での流量資料から、2.2 m³/s以上を超える流量の季節別日数をまとめたのが表2である。この2.2 m³/sという値は、P2地点での平均流量の約2倍に相当するもので、各年の10～30番目の高水に対応する。この表の結果を見ると、融雪期の高水が予想以上に多いことがわかる。これは、融雪による河川流量増水とともに、この時期の降水量が比較的多いことから説明できるであろう。特に、このことは三城地域における土砂生産に関連して、重要なことからであると考えられる。つまり、王ヶ頭の南斜面では成帯土壌層がほとんど発達してなく、基岩が露出した状態となっている。この部分では、冬期に多量の礫を凍結融解作用により生産しているものと推定される。そして、これらの礫が融雪期の比

較的頻度の多い高水によって流下し、ダテ沢の現状を呈していると考えられるからである。

IV. 水収支

1. 流域での水収支

一種な広域面で、ある一定の期間を採用すると、一つの流域の水収支は(5)式により表現される。

$$P = ET + RO + Lx + \Delta Ss + \Delta Sg \quad (5)$$

P : 降水量

ET : 蒸発散量

RO : 流出量 (表面流出, 中間流出, 地下水流出)

Lx : 流域外への滲漏量

ΔSs : 土壤水分変化量

ΔSg : 地下水貯留の変化量

(5)式に従って、流域の水収支計算をするには、精度の高い水文データの測定と、蒸発散量と土壤水分量の観測が必須であろう。しかし、これらの条件を満たすことは困難であるので、ここではいくつかの仮定のもとに松本測候所地点での蒸発量を推定した。そして、その結果に基づいて、水収支の主要項目の相対的比較を行ない、それらの傾向をさぐってみる。

2. 蒸発散量の推定

山林地流域の水収支において、その流域からの蒸発散量の推定は重要である。しかし、面的な広がりをもつ山林地流域からの蒸発散量の研究は、未だ解明されていない。しかも、本流域では蒸発散量の測定、あるいはこれに関連する気象要素の測定も行なわれていない。そのため、本報告では三城地域から直線距離で約 12 Km 離れた松本測候所の気象資料を使って、松本における蒸発量を推定した。図 10 は、昭和 48 年～昭和 52 年の月別気象

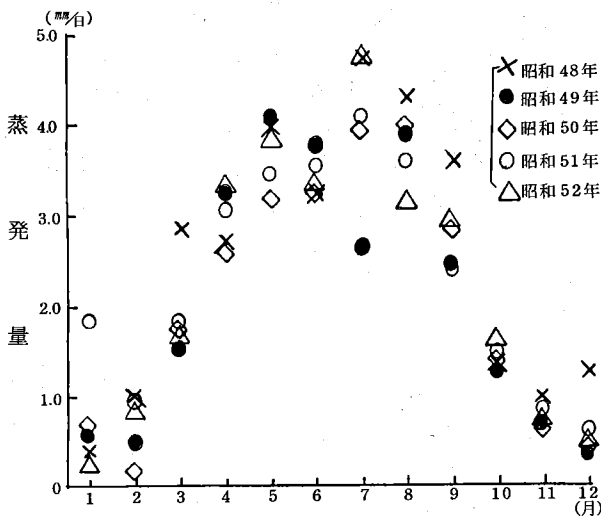


図10 月平均蒸発量

資料によって、月ごとの蒸発量を推定した結果である。なお、この推定はPenmanの経験法によった。この方法で算定される蒸発量は浅い水体からの推定値であるがいくつかの研究によれば、植被面からの蒸発は水面からのそれにほぼ近似されるとしている。しかし、ここで、推定した蒸発量は松本測候所地点の値であり、三城地域との気象条件の差などから量的な誤差は避けることができない。特に、冬の凍結期には、アルベドの変化や蒸気補給の界面の変化などにより、大きな誤差も考えられる。しかしながら、両地域はほぼ同じような気象環境をもっているため、図 10 の結果に見られる季節的変動パターンが三城地域でも現れるであろう。

3. 考察

2で求めた蒸発散量、P2地点流量、ならびにP4観測所の降水量から、三城流域での若干の水収支面の特徴がわかる。例えば、図 11 は月別の主要な水収支項の比較結果の一例である。この結果によると、蒸発散量が一般的に大きな値となる夏期において、本流域の水収支は支出項(蒸発散量+流出量など)が大きくなり、負もしくはそれに近い状態が出現しているものと推定される。このことは、本流域の降水量が少ないこと、あるいは地形的に南と南西斜面が多く、蒸発散が活発となることから一層助長されるであろう。それ故、夏期には土壤水分等の保留が著しく低下している可能性も考えられる。

一方、本流域では、12月～2月の冬期に渇水現象を呈する。しかしながら、この期の流量はP2地点で0.4～0.5 m³/s 程度あり、降水量に比して安定した流況を保っている。これは、地下水もしくは土壤水分等からの基底流出であり、季節による土壤水分保留の変動が大きいことの一端をうかがわせる。

なお、水収支の定量的検討は、前述したように水文量観測点の不足、データの推定精度上の問題等から、行なうことができなかった。今後、定量的な検討のため、各種水文データの観測が望まれる。

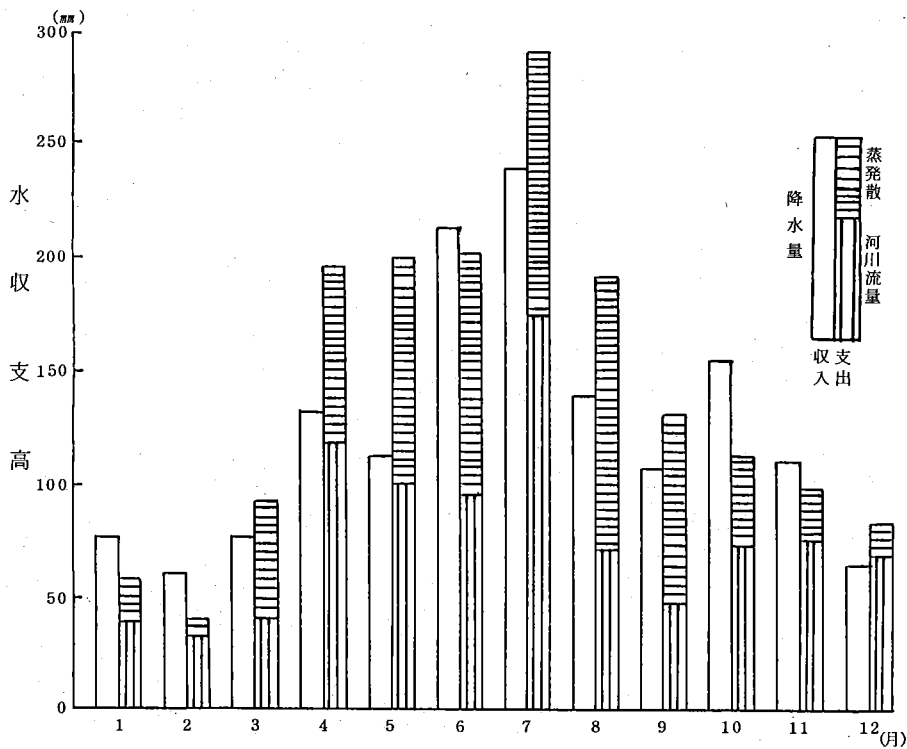


図11 主要な水収支項の比較

おわりに

水分資料も少なく、また現地での調査、観測等が始まったばかりで、十分な解析を行なうまでには至らなかった。このような状態で、かなり多くの仮定のもとに論を進めた感がある。今後、更に着実な現地調査に基づいて水文資料の観測、収集が必要であろう。特に、地形、地質、植生等の諸要因と流出過程、あるいは水収支の基礎的な考察を進めていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 石原安雄，長尾正志：流出量時系列の季節的特性について，京大防災研年報，第12号B，1969，3
- (2) 星川和俊：水源計画における計画要素の特性について，応用水理研究会，1975，12
- (3) 中野秀章：森林水文学，共立出版，1976，7
- (4) 塚本良則：山地流域内における水文現象の解析，東農工大演習林報告，1966，9