

京都大学防災研究所 正員 石原 安雄

同上 ○正員 小葉竹 重機

水文現象と研究する有力な方法として、これまでに多くの試験地においていろいろの観測研究が行なわれてきたが、こうした観測研究はそれ自身有意義であるとしても、たとえば広い面積における水文現象を理解する場合、小面積の試験流域における観測研究の結果がどれだけ役立つか、換言すると、試験流域にどれだけの代表性があるかという質問をししばしば耳にする。このような質問は、ある意味で試験流域における観測研究の本来的な意義をついたものであるにもかかわらず、従来あまり議論されなかったようである。

1. 代表性の意味

試験流域に代表性があるということとは、試験流域での観測研究の結果が、他の流域における水文現象を理解し、または記述するうえで直接に役立つということと定義する。一般に、ある流域における水文現象という場合、その中には多くの要素的水文事象、たとえば降雨、降雪、蒸発、融雪、地面流、浸透、地下水、河道流等が含まれている。したがって、試験流域での観測研究は、このようは要素的水文事象の集合として表現できる水文現象を全体集合として、あるいは部分集合として調べることである。

したがって、試験流域において調べる集合を E 、他の流域で記述しようとする集合を P とすると、つぎの四つの場合が考えられる。① $E=P$ 、② $E \subset P$ 、③ $E \cap P = C \neq \phi$ 、④ $E \cap P = \phi$ 。

④の場合は、例えばある流域における融雪状況 P を記述するのに積雪をみない試験流域でどのような観測研究 E を行っても何も役立つことはないことは明らかで、この場合には代表性ということとは全く考えられない。これに反して①、②、③の場合には少なくとも共通する部分集合が存在するので、試験流域が何らかの意味で代表性をもつ可能性が考えられる。以下において各々の場合の代表性の意義を検討するが、一般に流域における水文現象に対する入力には降水であるので、これを上記の共通する部分集合の一要素とすることは現在の学問段階では必須の条件である。すなわち、現在とすると試験流域ともう一つの流域は同じ気候区に属していることが代表性を論ずるうえの前提条件といえる。

2. $E=P$ の場合 流域は要するが考察の対象とする要素的水文事象を規定する降水条件と流域条件が同じである場合であって、 E を研究することは P そのものを研究することともいえるので、厳密な意味で代表性があるといえる。二例として同一気候区における大気圏と陸地圏とへ水の授受のうらの、蒸発散問題があげられる。すなわち、蒸発散問題は同じ植生であれば代表性はほぼ保たれると考えられる。

3. $E \subset P$ の場合

3.1 P の部分集合である E についての観測研究を行って P を記述しようとする場合である。 P に対する E の補集合の性質を知っておれば、試験流域の代表性の意義を見出すことができる。こうした意味から、大流域の中に設定された試験流域での観測研究の結果 E から、大流域末端での流出ハイドログラフ P を記述する場合を例として、試験流域の代表性の意味を検討してみる。

3.2 Fig.1は破線で示した試験流域(0.18 km²)を含む荒川流域(4.42 km²)を示したものである。全体の流域が風化花崗岩で構成され、各支流ごとの地形が類似しており、かつ植生もほぼ同じである。まず、出水時の場合は試験流域と同じ order の支流および残流域からの流出ハイドログラフは波形が同じで流量が面積に比例すると考えた。このことは試験流域からの流出 E と、同じ order の他の支流・残流域からの流出 E' について、 $E \cap E' = C$ としたときの E に対する C の補集合が非常に小さいという意味での代表性

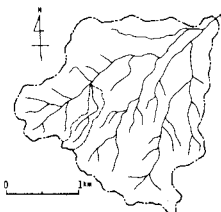


Fig.1 荒川流域

を仮定していることである。さらにPに対するEの補集合には河道系における洪水の合流・下流過程が含まれており、これが離散的な集中面種図A(t)で表現できるとして、試験流域からの流出量 $q(t)$ を用い、次式で下流端のハイドログラフ $Q(t)$ を計算した。

$$Q(t) = \sum_i A(i \cdot \Delta t) \cdot q(t - i \cdot \Delta t), \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Fig. 2(a)(b)は計算結果(破線)を実測値(実線)と比較したものである。なお一点鎖線は $q(t) \times \frac{4.42}{0.18}$ で示してある。図より出水時には両者は比較的良好に一致するが、低水時には両者にはかなりの差がでている。

以上の結果から、出水時には前記の代表性の仮定が正しく、荒川流域では試験流域の代表性が認められるといえる。すなわち、集合Pの中にEと同じような部分集合が数多くあり、Eはそれらへ部分集合の性質を代表するものであるという意味における代表性ということである。ただしこの代表性は、本質的には次項4.で述べる代表性と同じ意味である。

つぎに、試験流域すなわち小流域の大きさなどの程度に与えらるるような代表性が保たれるかという問題は、河道系における洪水の合流・下流過程などの程度まで細かくとればよいからという問題と大いに関連するが、筑後川水系小平上流流域を対象とした解析結果によると、Pの流域のorderをnとするとn-3 またはn-4のorderの小流域をれば十分のようである。

一方、低水時の流量は主として地下水によつて供給されるが、一般的に考えて地下水発生場は空間的な広がりがある。またトンネル掘削時の湧水量がその上の山の容積に依存しているという話もよく聞く。そこでFig. 3に示すように、上述の洪水流出の場合と同様に大流域を小流域群に分割した後、各小流域の出口の標高で水平に山を切り、さらにその小流域の流域境界で鉛直に切ることによ

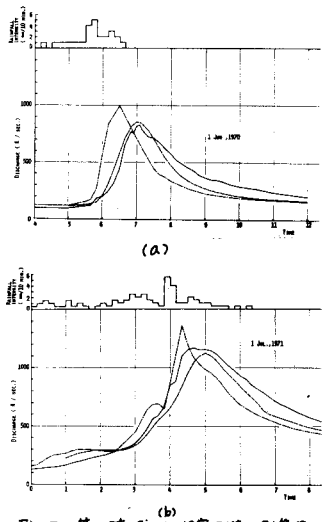


Fig. 2. 荒川流域における実測値と計算値

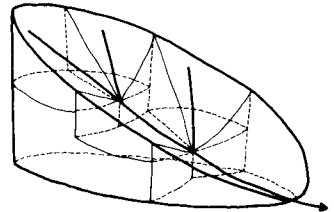


Fig. 3. 分割流域と地下水発生場の関係

つて決まる体積がその小流域からの低水流出と関係し、下流端では、階段状に分割された下の部分だけ地下水発生空間が大きくなると考える。Fig. 4は横軸に低水時の試験地からの流出量、縦軸に同時刻の下流端での流出量をとってプロットしたもので、図中破線は流出量が流域面積に比例する場合、実線は破線の関係にさらに体積比を乗じたものを示している。前と同様に意味において集合Pに対するEの補集合が上述のような性質があるとすれば、すべての点がこの両線の向に入るはずであるが、実際には面積比を示す破線より下にプロットされており、したがって、荒川流域に対しては低水時にはこの試験地の上述の意味での代表性は認められないということになる。しかしながら、プロットされた点がほぼ直線上に並んでいるので、補集合についての適当な特性を導入することによつて、低水時にも大流域中における小流域という意味での試験地の代表性の意義を見出すことができるかもしれない。

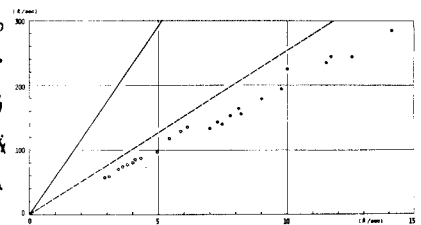


Fig. 4. 荒川試験地と荒川流域全体の低水流出量の比較

4. $E \cap P = C \neq \phi$ の場合

4.1 二つの流域で共通する部分集合Cを見出し、CとEとの関係から演繹的にPを記述しようとする場合である。Pに対するCの補集合が大きい場合には、Pを記述することはかなり困難であるために、こうした場合には試験流域に代表性をもたせることはできない。しかし、同じ程度の流域面積で、かつ地形・地質・植生が類似しているならば、上記の補集合が小さいと考えられるので、試験流域に代表性をもたせることができる。この際、Pを記述するのに演繹的手法を用いることとなるが、通常は物理モデルが用いられる。換言すると、少くとも面積・地形・地質・植生が類似した流域における普遍的な物理モデルを研究するという意味で、試験流域の

代表性という意味を見出すことができます。ここでいう物理モデルとしては、実際には流出モデル、浸透モデル、地下水モデルなど多くのものが対象とされている。

4.2 この意味での代表性を考察したものととして、荒川試験地の流出モデルで妙法寺川を解析した結果を述べる。妙法寺川は神戸市須磨区を流下する流路延長5.4 kmの小河川であり、流域の地質は明神町より上流は風化花崗岩である。さらにこの地域の年降水量は1700mm前後で、荒川流域とはほぼ同じであり、降水頻度も同じ傾向にある。したがって、4.1で述べた補集合は小さいと考えられ、妙法寺川を解析の対象として選んだわけである。

妙法寺川の明神町(流域面積 6.3 km²)と池の中(3.5 km²)の二地点で神戸市によって流量観測が行われており、その資料を使用した。Fig. 5は明神町観測点より上流の流域を示したもので、池の中地点より上流は水田や池の占める面積がかなり大きい。そこでこの部分は解析の対象から除外し、池の中と明神町とへ向う流域を対象として解析を行った。解析にあたっては、3.2で述べた出水時の大流域の中における小流域の代表性を利用したので、まず流域をFig. 5に示すように24の小流域に分割した。小流域のorderは原則として二次であるが、分割された流域が極端に大きい場合や小さい場合は、さらに分割したり、あるいは他の流域に含めるようにした。この分割された小流域のうち、流域面積が平均の面積 $\frac{2.8}{24}$ km²に近く、形状も平均的な一流域を選び出し基準流域としたが、この流域はFig. 5中ハッチングで示されており、面積は0.13 km²である。この基準流域からの計算流量 $q(t)$ と、3.2で述べた $A(t)$ を用いると(1)式から池の中・明神町間の流域からの計算流量 $Q_2(t)$ が得られるが、明神町観測点での流量 $Q(t)$ は、池の中地点の実測流量を $Q_1(t)$ とすると、

$Q(t) = Q_1(t - \tau) + Q_2(t)$ で与えられることになる。では本川における dQ/dA の勾配(ある流量以上からは一定の勾配と仮定している)より伝播速度を6.1 m/secとした時の池の中・明神町間1.9 kmの洪水の伝播時間で、5分である。

$q(t)$ の計算にあたっては荒川試験地で得られた多層モデル³⁾を適用したが、パラメータの値は表層流への有効降雨と降雨の40%(荒川試験地では2%)とした以外は、前期無降雨期間と初期積水量との関係も含めて、すべて荒川試験地と同じものを使用した。 $A(t)$ に

ついては、伝播速度を本川では6.1 m/sec、本川までの支河道では荒川流域で得られた0.75 m/secとして求めた。Fig. 6が $A(t)$ で縦軸は基準流域に対する面積比、横軸は1分間隔で示してある。

計算結果がFig. 7で図中実線は実測流量で、太いのが明神町、下が池の中、破線の上の方が計算流量 $Q(t)$ 、下の方が $Q_2(t)$ を表わしている。雨量は池の中地点で得られたものである。

この図によれば、計算値は大略の性質を説明しており、パラメータの値をこの流域の流域条件に合うように変えれば、もっと良く一致する

はずである。本項で述べた試験地の代表性が認められる。しかしこの場合、パラメータの値と流域条件とは結びついていする必要があり、また結びつける流出モデルでなければならない。こうした意味において荒川試験地の流出モデルはまだ完全ではなく、今後さらに、流域条件が類似している流域における普遍的な物理モデル、というものを旨として観測研究を行わなければならない。最後に資料を頂いた神戸市南港局の関係者の方々に感謝の意を表します。参考文献：1) 石原・小藁竹：小流域と大流域からの流出の相互関係、京大防災研年報 917号B。2) 石原・小藁竹、洪水ハザードマップの形成過程について、防災研年報 915号。3) 石原・小藁竹：荒川試験地における水収収について(2)、防災研年報 915号B

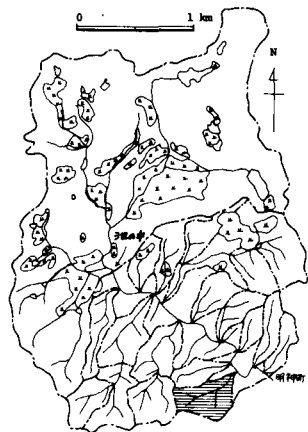


Fig. 5 妙法寺川・明神町流域と流域分割

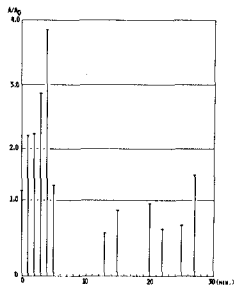


Fig. 6 池の中・明神町間の流域の集面積 $A(t)$

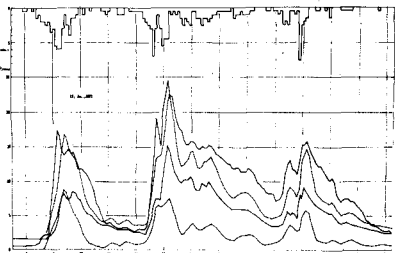


Fig. 7 荒川試験地の流出モデルと妙法寺川に適用した結果