

1. ま え が き

地下水流出あるいは長期流出については、すでに多くのモデルが考えられ、現象の解析に、また流出流量のシミュレーションに用いられている。しかし、地下で現象が起きていることがあって、地下水流出に対して、流域の構造・機構をどのように捉えるべきかといった事を論議したものは少ないようである。本報では、地下水流出のスケール、流域の構造、流域を lumped system model と扱うことの可否といった問題を考えるために、地下水流出の基本的な性格を反映している低減特性をとり上げ、その流域内部での変化過程と流域との関係について考察する。

2. 低減特性・流域面積

不飽和地下水の低減は $Q_{ult}(t) = Q_{uo} / (K\sqrt{Q_{uo}t} + 1)^2 \dots (1)$

と与えられ、低減特性 K は、もし流域内部での水の場所的分布状態があまり変化しない場合には、流域固有の値となること、および、 K は流域面積 A と逆比例

$$K = mA^{-1} \quad (2)$$

の関係にあることが知られている。Fig. 1 は、流域面積が $10 \text{ km}^2 \sim 100,000 \text{ km}^2$ に渡る、本邦 17、西ドイツ 26 の河川流域について求めた低減特性値 K の値と流域面積との関係を示したものである。図には、 K の平均値 K_0 をプロットし、かつ K の値の変動域・ばらつきを重ねて示した。図から見られるように、すべてのプロットについては、式 (2) のような傾向は見られないが、流域面積をこれを $i = I, II, III, \dots$ といったいくつかのグループに分けると、 K_0 については、大略式 (2) の関係が成立していることがわかる。すなわち、 K の値は、流域面積のある範囲内では、面積の増加に応じて連続的に変化するが、この範囲をこえると一旦不連続に変化し、つぎ

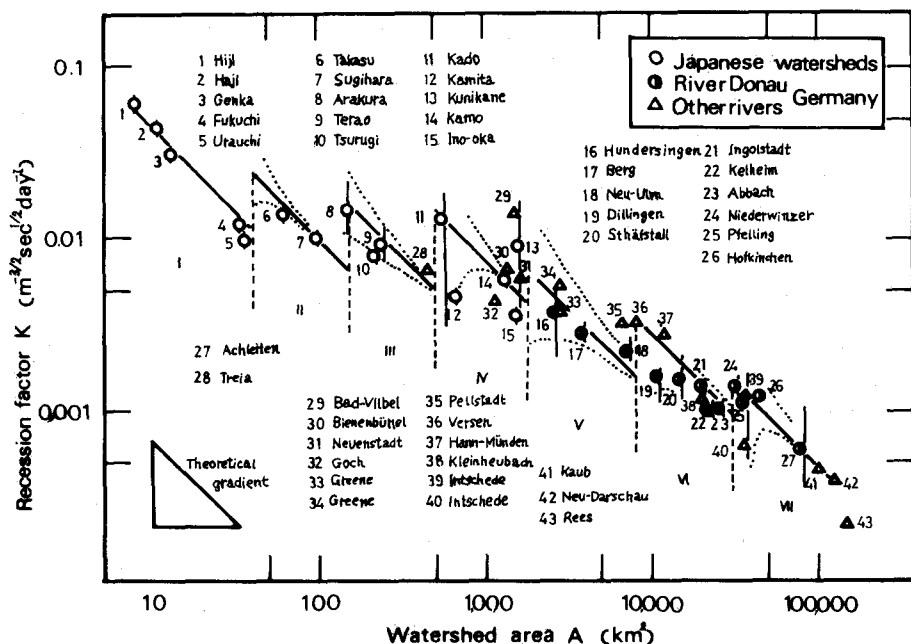


Fig. 1

のグループごまた連続的な変化をするといった過程を繰り返していることがわかる。

3. 低減特性と流域オーダー

上記の各グループの境をなす流域面積と、グループ番号との関係を示すと、Fig. 2がえられる。この関係は、流域地形則の1つ、流域面積則と同型であって、しかも $A_i = A_1 R_0^{i-1} \dots\dots (3)$ と記したとき、定数 R_0 の値は3.7であり、流域面積則とよく適合するといわれる3~4とほぼ等しい。このことは、上に述べた流域のグループは、実は流域のオーダーと深く関わっていることを想わせる。すなわち、地下水の流出現象についても、直接流出と同様に、流域内部の地表近辺の地形的特徴に左右され、現象の場所的スケールという点でも両者には密接な関係があることがわかる。

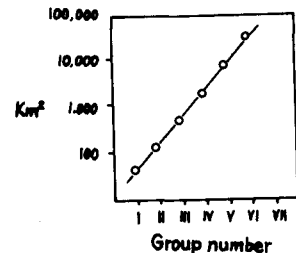


Fig. 2

4. 低減特性のばらつき

Fig. 1を振り返り、各流域(○印及●印)そのKの値のばらつきの様子を観察すると、前述のそれぞれのグループの範囲内では、実線と概略を示したように、流域面積の増加とともに、Kのばらつきが徐々に小さくなっていることがわかる。逆に、Kの値が不連続に変化した直後は、Kの値は大きく変化し、その前のグループの値に近い数値まで、かなりの範囲にばらついている。このことは、河川合流点の下流では、ある場合は本川流域の、ある場所には支川流域の性質が表に現われるといった、流域内部の水の分布状態に左右されているためである。

5. 低減特性の平均化過程

多くの力学系の連鎖から成る流域のうち、1つの力学系を取り出す。この系は、上流よりの河川流入水(低減係数 K_0)と性質を異とする n 個 ($j=1, 2, \dots, n$, 低減係数 K_j) の地下水領域から成るものとする。この系で、河水と地下水が相互に干渉すると、この力学系の下流端から地下水流出として流れ出す河水の、すなわち、系全体としての低減係数 K^* は

$$K^* = \left\{ \sum_j p_j q_j^{3/2} K_j + E q_0^{3/2} K_0 \right\} / \sum_j p_j q_j \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。言い換えれば、 K^* は K_j と K_0 の加重平均となる。ここで、 p_j は j 番目領域の地形地質要素と定まる定数である。また、 q_j, q_0 は、初期時の j 番目地下水領域よりの流出流量を Q_{0j} 、河水の流入量 Q_{00} としたとき、これらの、初期下流端流量 Q_{00} に対する比 $q_j = Q_{0j} / Q_{00}$ 、 $q_0 = Q_{00} / Q_{00}$ であって、系内部の水の分布状態を示す量である。小さい流域で性質が一律な場合には q_j, q_0 は常に一定であって、 K^* も一定値となる。また、系が非常に大きくなると、 q_j, q_0 が場合によって変化しても、 n が非常に大きいため、式(4)の平均化過程が卓越して、 K^* は流域固有の値になる。そのような、Fig. 1のグループ1、および各グループの流域面積の大きい範囲そのKのばらつきからも観察されよう。

式(4)については、本邦・西独あわせて11の流域力学系について検討した。その結果によると、河川水として上流より流入する流量8に対して、系内部の地下水帯より流出する流量2の割合 ($q_0 = 0.8$, $q_1 = 0.2$) であって、式(4)のweightの比は、河川水1.6、地下水1.0であり、また、 $q_0 = q_1 = 0.5$ では、河川水0.03~0.1に対して地下水1.0程度となる。すなわち、低減特性 K^* の決定にあたって、河川水の果す役割は小さく、流域の最下流部の力学系 K^* の値が決定されていることがわかる。

6. まとめ

低減特性のみを取り上げたが、以上の事柄は、地下水流出についての流域の構造、流域のスケール、モデルを考える場合の単位流域、流出特性の形成過程を考える上その1つの指針がえられる。これらの問題については、講演時に触れる。