

筑波の水文環境 (その1)

一 台地小流域河川の流出特性にみられる都市化の影響 一

田口 雄作 (環境地質部)
Yuhsaku TAGUTSCHI

1. はじめに

筑波研究学園都市は 茨城県南部に位置し 土浦市西方の常総台地の一部に建設されている。1967年頃から着手された建設工事は 関係省庁研究機関の移転が大部分完了し 世界的にも例が少ない研究学園都市として ほぼその全容が明らかになってきた。

開発以前の筑波研究学園都市域は 広い平地林におおわれていたほか 畑や栗・梨などの果樹園の土地利用が卓越しており 台地面を樹枝状に開析している狭長な沖積低地は 水田に利用されている純農村的景観の地域であった。

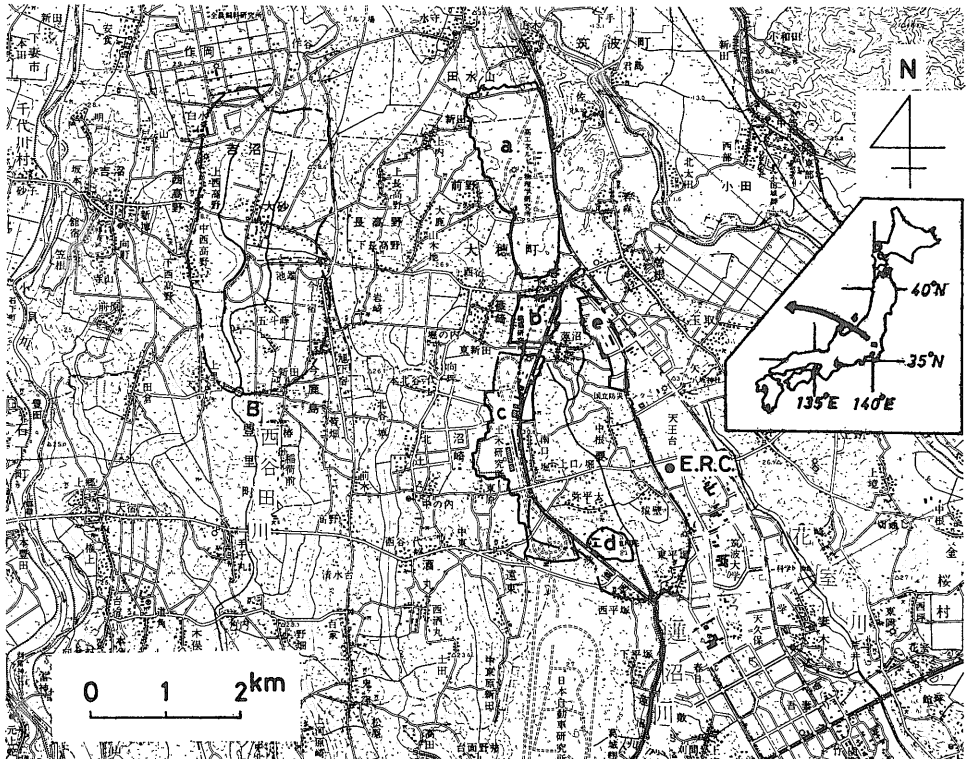
一般に このような場所が きわめて短期間のうちに都市開発によって 重層の鉄筋コンクリート構築物や舗装道路等が増加し 雨水が直接地中に浸透しない いわゆる非浸透域が増大し さらに 雨水の集水施設が完備され 河川の改修工事が完了するに伴って 水文現象の

あり方が 急激にさまざまな変化を示すようになってくる。とりわけ 河川流量が雨水の影響を受けて増減するという 河川の流出特性の変化は もっとも直接的な影響を受ける項目の一つである。

筆者は 筑波研究学園都市の建設に伴う景観の変化を眼前に見て来たが 上記の河川流出特性の変化を実際に観察する目的で 河川観測を行い とくに 河川水の電気伝導度の変化を測定することによって 流出特性の変化を評価するという手法を試みた。その結果は 別に論文として報告した (Tagutschi, Y., 1981) が ここに改めて一部を紹介する。

2. 研究対象流域の選定

この研究の実施に当って 望ましいのは すでに研究学園都市として開発されている河川流域と 研究学園都市開発とは無関係な 純農村的土地利用形態を残してい



第1図 観測地域位置図
図中Aは蓮沼川東平塚橋を Bは西谷田川上里橋をそれぞれ示す。

る流域が お互いに近接していることである。ここでは 前者として蓮沼川流域を 後者として西谷田川流域をとり できるだけ同じような流域形状と流域面積を得るため 第1図に示すように 両河川の最上流部の流域を選定した。

図中の1点鎖線は 地形図から判断した自然の流域界を示す。蓮沼川の自然流域中 eの記号を付した地区の雨水は 研究学園都市建設の過程で 蓮沼川の東側に隣接する花室川流域に排水されるようになったため 蓮沼川流域から除外する。

観測点は観測上の便宜もあって 蓮沼川流域は東平塚橋に 西谷田川流域は上里橋に求めた。したがって 両河川の観測点までの流域面積は 蓮沼川が8.7km² 西谷田川が6.8km²である。蓮沼川の流域には 自然の流域界のほかに 第1図中aからdの記号を付した人工的な流域界も考慮しなければならない。これらのいわゆる都市化地区は4.0km²で 蓮沼川流域全体の46%に相当する。

3. 流域の土地利用

流域面積や形状 さらに地形の勾配などの自然環境が 両流域ともほぼ等しいとすれば 流出特性にもっとも大きく影響を与えるのは 土地利用の相違であろう。

そこで 両流域における土地利用を 水田・果樹園・雑木林・集落・畑の5種に区分して 国土地理院発行の2.5万分の1の地形図「上郷」図幅(1960年測量 1972年修正測量 1974年2月28日発行)によって計測した。結果を第1表に示した。

蓮沼川流域は 畑が流域全体の50% 針葉樹を中心とした雑木林が33.3%で この両者を合わせると83.3%も

第1表 蓮沼川および西谷田川流域における土地利用項目ごとの面積の比較

土地利用項目	蓮沼川流域		西谷田川流域	
	面積	百分率	面積	百分率
水田	0.65 km ²	7.5 %	0.99 km ²	14.6 %
果樹園	0.26	3.0	0.05	0.7
雑木林	2.90	33.3	0.49	7.2
集落	0.54	6.2	0.58	8.5
畑	4.35	50.0	4.69	69.0
合計	8.7	100	6.8	100

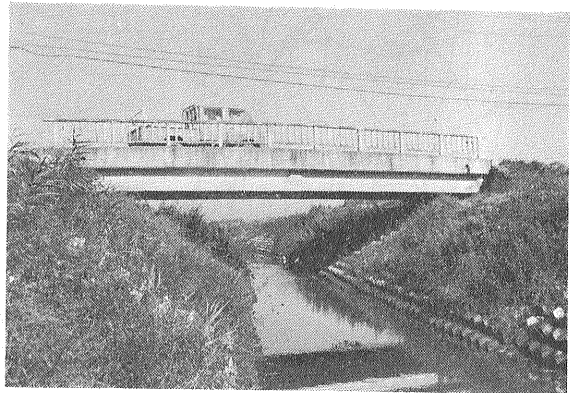


写真1 蓮沼川流量観測点(東平塚橋)
川の兩岸および河床面はブロックにて改修されている。



写真2 西谷田川流量観測点(上里橋)
河川改修中の状況。右岸の切り込みを見ればローム層がうすく すぐに常総粘土層が現われているのがわかる。自由地下水はこの粘土層の上部に賦存する。遠方の山は筑波山である。

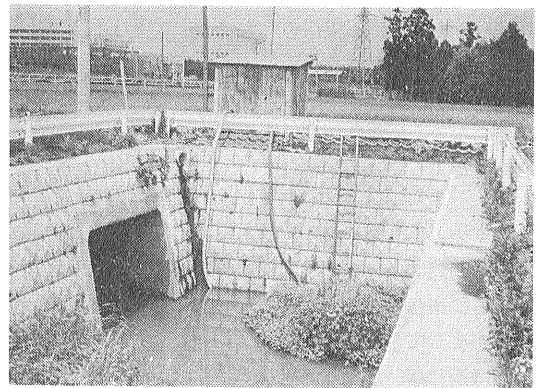


写真3 蓮沼川の谷頭部
暗渠は第1図のa bおよび一部のc地区の雨水の集水排出口である。遠景の高い建物は建築研究所である。



第2図
蓮沼川流域における学園都市開発前後の土地利用の変化
左は 昭和35年測量 昭和42年修正測量 昭和44年6月30日発行 右は 昭和35年測量 昭和52年改測 昭和54年9月30日発行の国土地理院の2万5千分の1の地形図「上郷」による。新しい舗装道路や研究機関の建設によって土地利用が著しく変化している。

の高率になる。一方 西谷田川流域は 畑が69%と多いが 雑木林は7.2%と 蓮沼川流域に比べて極端に少ない。さらに 両流域における水田の占める割合は 西谷田川流域の方が14.6%と 蓮沼川流域の7.5%の約2倍の多さを示している。梨や栗が主として栽培されている果樹園は 蓮沼川流域の方が 西谷田川のそれに比べて 5倍の面積を占めているが 流域全体に占める割合は取るに足りない。集落面積は両流域ともほぼ等しい。

第2表 蓮沼川流域における土地利用項目ごとの都市化率の比較

土地利用項目	都市化された地域 (A)		都市化されない地域 (B)		都市化率 $\frac{(A)}{(A)+(B)} \times 100$
	面積 km ²	百分率 %	面積 km ²	百分率 %	
水田	—	—	0.65	7.5	—
果樹園	0.05	0.6	0.21	2.4	19.2
雑木林	1.94	22.3	0.96	11.0	66.9
集落	—	—	0.54	6.2	—
畑	2.01	23.1	2.34	26.9	46.2
合計	4.0	46.0	4.7	54.0	46.0

第1表のような土地利用であった蓮沼川流域に 研究学園都市の建築物や道路など いわゆる都市化域が増大するに及んで 土地利用に大きな変化が生じてきた(第2図参照)。

第2表には 蓮沼川流域における都市化された地域をその土地利用ごとに集計し 第1表に示した開発以前のその土地利用ごとの面積に対する割合(都市化率と呼ぶことにする)とともに示した。台地を樹枝状に侵食した

沖積低地は 大部分が水田として利用されており それを盛土整地して都市的土地利用に供する例は 蓮沼川流域には全く見られない。また 既存の集落区域も同様にその変化は全く見られない。これに対し 台地上にのみ分布する他の3つの土地利用項目では 都市的土地利用に供される割合が大きい。すなわち 以前には 2.90km²あった雑木林は 1.94km²が都市化され 都市



第3図
西谷田川流域における土地利用の変化
左右の地形図は 第2図の説明と同じものを使用した。
作図その他若干の相違は見られるもの 土地利用にはほとんど変化が見られない。

化率は66.9%で 畑は4.35km²のうち 2.01km²が都市化され 都市化率は46.2%である。さらに果樹園は0.26km²のうち0.05km²が都市化され 都市化率は19.2%を示す。このことは 研究学園都市の建設が台地上の しかも 既存の集落区域を避けて行われていることを意味している。

これらの都市化域の面積を合計すると4.0km²となり 蓮沼川流域全体の46.0%に相当する。これらの都市化域の雨水の排水は 前述したように 蓮沼川にまとめて流入するシステムになっている。都市化域における家庭雑廃水やし尿は 別に設置されている下水道を通じて 蓮沼川の流域外に排出処理されるため 蓮沼川の流量には影響を与えることはない。

西谷田川流域では 蓮沼川流域にみられるような 都市化現象は 全く見られない(第3図参照)。

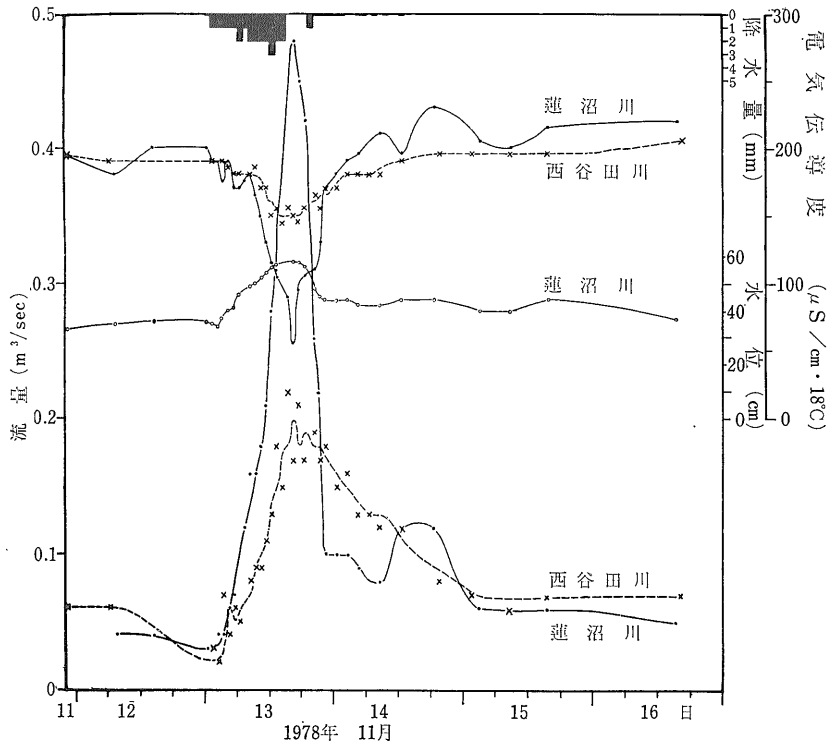
4. 観測方法

本地域における灌漑期には 桜川や小貝川から河川水が灌漑用水路から導入され さらに 地下水が揚水されて 両河川に付加流入するため 今回のような目的の調

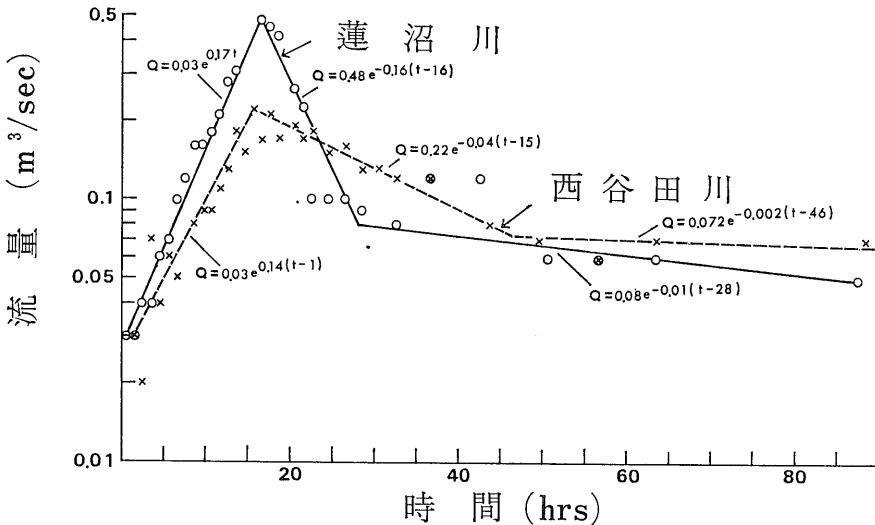
査には適さない。したがって 観測に適切な時期は 非灌漑期で しかも 前歴降雨が1週間以上も前にあって 河川の流量に対しては その影響が 全く現われていない時期である。この状態では 河川の流量はほぼ基底流 すなわち 全流量が地下水の湧出によって涵養され 水質の特徴は 降水の直接流出による特徴と異なっているので 都市化の影響を 流出特性から評価するには 条件が良いと判断した。

測定項目は次の通りである。

- 1) 降水量 筑波大学水理実験センターの観測記録による。
- 2) 流量 中浅測器製プライス式微流速計
- 3) 水位 東信電機製の水位測定器
- 4) 水温 器差補正を施した棒状温度計
- 5) 電気伝導度 器差補正を施した東亜電波製CM-1F型電気水質計を使用し 6割水深で採水した試料を 実験室に持ち帰り測定
- 6) 水質 同じく6割水深で採水した試水を実験室に持ち帰り測定



第4図
蓮沼川および西谷田川のハイドログラフ 電気伝導度 および蓮沼川（東平塚橋）の水位と降水量（筑波大学水理実験センター）の記録



第5図
蓮沼川および西谷田川における流量とハイドログラフ立ち上がり後の経過時間との関係 図中 Qは流量を tは経過時間を示す。

前章で述べたような条件設定と観測設備をもって 降雨の到来を待ったのであるが たまたま1978年11月13日の降水を中心に 11月11日午後10時から観測を開始し ほぼ降雨前の流量にもどった11月16日午後4時に終了した。観測は各正時に 流量・水位・電気伝導度・水温を測定し 試水を1 l ポリエチレンびんに採水し 分析

に供した。

また 観測は原則として 降水開始までは数時間に1回 降水開始から ピーク流出までは1時間に1回 それ以降は2~6時間に1回の割合で行った。

この観測に先立つ降水は 2週間前の1978年10月29日

に20mmあったが 観測開始時の河川流量は ほぼ基底流と見なして差しつかえない状態であった。

5. 観測結果

観測結果は 筑波大学水理実験センター（第1図中黒丸で示し E. R. C. を付した）で得られた降水記録とともに第4図に示した。

1) 降水量

11月13日午前0時より降り始め 同日午前1時から2時までに1mm降って以来 同日午後3時までほぼ時間雨量1～3mmのベタ降りであった。それから4時間後に1mmの降水があり 合計24mmを記録した。その後も14日正午頃まで 時どきにわか雨がいったが1mmまでは達していなかった。

2) 流量

第4図に示したように 降雨前の11月13日午前0時に0.03m³/secであった蓮沼川の流量は 降雨開始後約2時間で増加しはじめ その後 同日午後4時に0.48m³/secを記録するまで 指数関数的に増加した（第5図参照）。

また ピーク後の減水も早く ピークから8時間後の同日午後10時には 0.10m³/secまで流量を減少させている。

これに対し 西谷田川は河川改修工事の影響もあってか 不安定な流況を示す。降雨前0.03m³/sec程度であった流量は 降雨開始後約3時間で増加しはじめるが その増加率は低く しかもピーク流量が0.22m³/secと蓮沼川に比べて半分以下の値であった。ピーク経過後の減水は緩慢で ピーク流量の約半分の0.10m³/secになるまでに約22時間を要している。

両河川とも 減水期には 半対数グラフ上に流量をプロットすると 第5図のように明瞭な変遷点が現われるのが確認できる。この変遷点現出以降のグラフの傾きも 西谷田川の方が緩い。変遷点現出以降のグラフの傾きが両河川とも一定とすれば 両河川の流量がハイドログラフの立ち上がり前の流量0.03m³/secに復帰するのは 蓮沼川が11月17日午前0時 西谷田川が18日午後9時となり 両者の時間差は45時間と計算される。

なお 蓮沼川で11月14日の午後0.12m³/sec程度の小さな極大部が現われるが これは現場観測や 電気伝導度および溶浮流物質の測定結果から 家庭雑廃水などの混入による一時的な流量増加と見なされる。

3) 水位

蓮沼川は全流路ブロックにて兩岸のり面および河床を改修完了しており 西谷田川は観測当時河川改修工事中であったので 両河川とも量水標を立てることは困難であった。したがって 水位の観測には代替手段が必要となった。そのため地下水位測定に用いる水位測定器により 橋の上の定点から水面までの高さを測定した。西谷田川は工事中で条件が悪く 流量と水位の関係はあまり良好に観測できなかった。これに対し 蓮沼川は河道が安定しているため 第4図のようなきれいな水位観測ができ 水位と流量は明確な対応が認められた。これを水位・流量曲線に示すと 第6図のようになる。図より明らかのように増水期には 流量の増加に伴って水位が指数曲線的に上昇し ピーク流量まで増加し続ける。しかし それ以降は流量に比して水位が急激に下降し ある程度まで下降した後は 流量が減水しても水位はそのままの状態を継続する。すなわち 時計まわりの紡錘形のような形を描き 流量の増減につれて水位が昇降する。

4) 電気伝導度

第4図に示すように 河川水の電気伝導度は降雨前には両河川とも200μS/cm程度であったが 降雨後流量の増加につれて ピーク流量まで減少を続け ピーク流量を過ぎると同時に電気伝導度も急速に回復をする。流量の不安定な西谷田川は別にして 蓮沼川ではピーク流量時に電気伝導度の最小値が現われ 両者の逆相関が顕著にみられる。

両河川における流量と河川水の電気伝導度の相関係数(r)を計算すると 蓮沼川で-0.905 西谷田川で-0.783であった。また 各河川に分けずに 全体として相

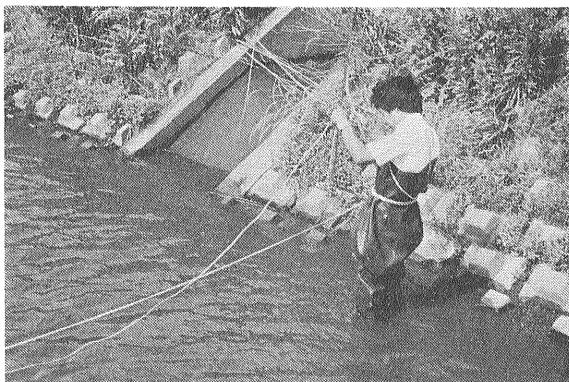


写真4 蓮沼川東平塚橋における流量観測
胸まであるゴム長靴をはいて川に入り雨の中で 観測を続けるのは決して楽な仕事ではない。とくに夜間はヘッドライトや懐中電灯だけが頼りのつらい作業である。

係数を計算してみると -0.889 となり かなり高い相関関係が存在しているのが認められる。

流量と河川水の電気伝導度との関係は 第7図に示した。それによると流量の増加につれて電気伝導度が減少し ピーク流量以降の減水期には 増水期の流量に対する電気伝導度の値よりも 若干高めになっているのが読みとれる。しかし 巨視的にみれば 両河川の両者の関係は ある変動幅をもってきれいに逆相関の関係が存在しているのがわかる(第7図中の点線の範囲)。ちなみに 両者の関係を一次式に示せば次のようになる。

$$\lambda_{18} = -281.25Q + 210 \pm 25 \quad (1)$$

ここで λ_{18} は18°Cにおける電気伝導度 Q は流量である。式(1)において Q がほとんど0に等しい時の電気伝導度は $210 \pm 25 \mu\text{S}/\text{cm}$ となり この値はこの地域の電気伝導度のバックグラウンドと考えられる。

5) 溶浮流物質

地表に到達した降水の一部は 蒸発や浸透して 大気中や地中に移行する。残りの部分は表面流出となって河道まで布状に移動する。この移動の際に土砂などを取り込み 土粒子との間にイオン交換を行ったりして 表面流出水の溶浮流物質濃度はしだいに増加する。したがって 降水開始後 河川水の溶浮流物質濃度はすぐに増加し その後も急激に増加し続ける。しかし 溶浮流物質濃度の最大値は ピーク流量の数時間前に現われている。すなわち 蓮沼川では ピーク流量の8時間前の11月13日午前8時に $332.5\text{mg}/\text{l}$ を記録し 西谷田川では 4時間前の11月13日午前11時に $500\text{mg}/\text{l}$ を記録している。最大値が現出した後の溶浮流物質濃度は逆に 急激に減少し とくに蓮沼川では ピーク流量のわずか4時間後の11月13日午後8時に $179\text{mg}/\text{l}$ の最低値を記録した。これに対し 西谷田川における最低値は 降雨後2日目の11月15日午前1時に $187\text{mg}/\text{l}$ を記録して現われた。

なお 蓮沼川において 11月14日午後6時に $326.5\text{mg}/\text{l}$ の極大値が現われるが これは前述したように 観測点に近隣する家庭雑排水の一時的な混入による影響である。

6. 電気伝導度によるハイドログラフの分離

降水開始以降の河川の流量は 直接流出成分と地下水流出成分によって構成されている。すなわち

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

である。ここで Q Q_1 Q_2 はそれぞれ河川流量 直

接流出成分 および地下水流出成分である。

また河川水の電気伝導度は 直接流出水の水量とその電気伝導度 および地下水流出水の水量とその電気伝導度によって定まる。すなわち

$$C = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q} \quad (3)$$

である。ここで C C_1 C_2 はそれぞれ 河川水 直接流出水 および地下水流出水の電気伝導度である。

式(2)と式(3)より次式が得られる。

$$Q_2 = \frac{C - C_1}{C_2 - C_1} Q \quad (4)$$

式(4)において Q と C は測定可能であり C_2 は地下水流出水の電気伝導度であるが 降水開始前の河川水の値で 置き換えてもさしつかえない。蓮沼川 西谷田川の C_2 は 第4図よりそれぞれ 200 $190 \mu\text{S}/\text{cm}$ と読み取り 一定値として取り扱った。

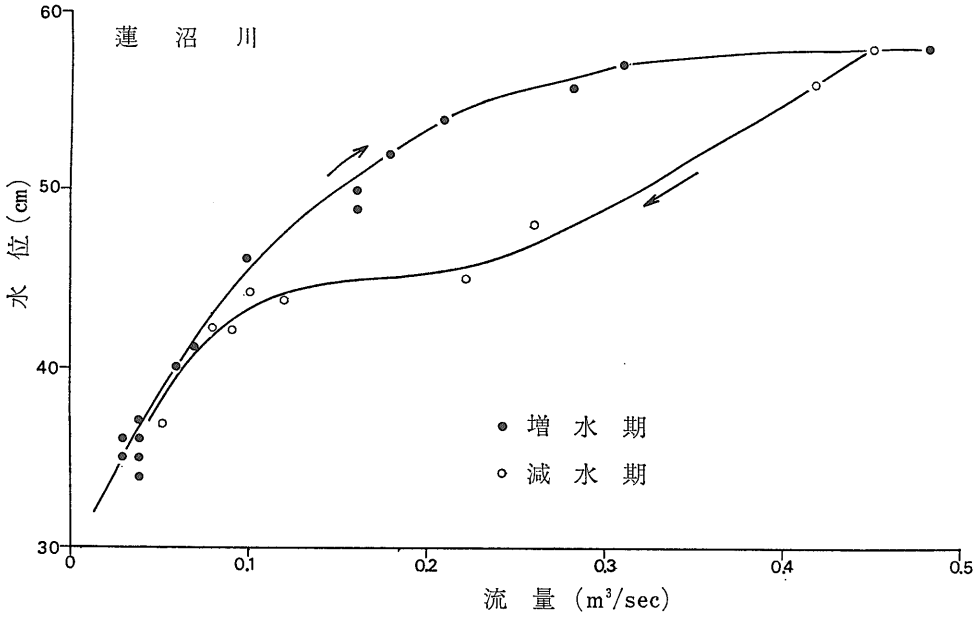
蓮沼川におけるピーク流出時の 河川水の電気伝導度の値は $55 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり 11月13日の降水の電気伝導度の平均値は $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。したがって 本地域における直接流出水の電気伝導度は 少なくとも $55 \mu\text{S}/\text{cm}$ より低く $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ よりも高いと考えられる。そこで式(4)の C_1 に 20以上で $55 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の適当な値を代入すれば Q_2 が計算できることになる。 Q_2 が算定できれば 式(2)より Q_1 が算出でき ここにおいて直接流出量の分離がなされるわけである。

本稿では 上述の C_1 の変動可能範囲内で 計算簡略化のため 20および $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ を C_1 の下限 上限値として式(4)に与え計算を行った。

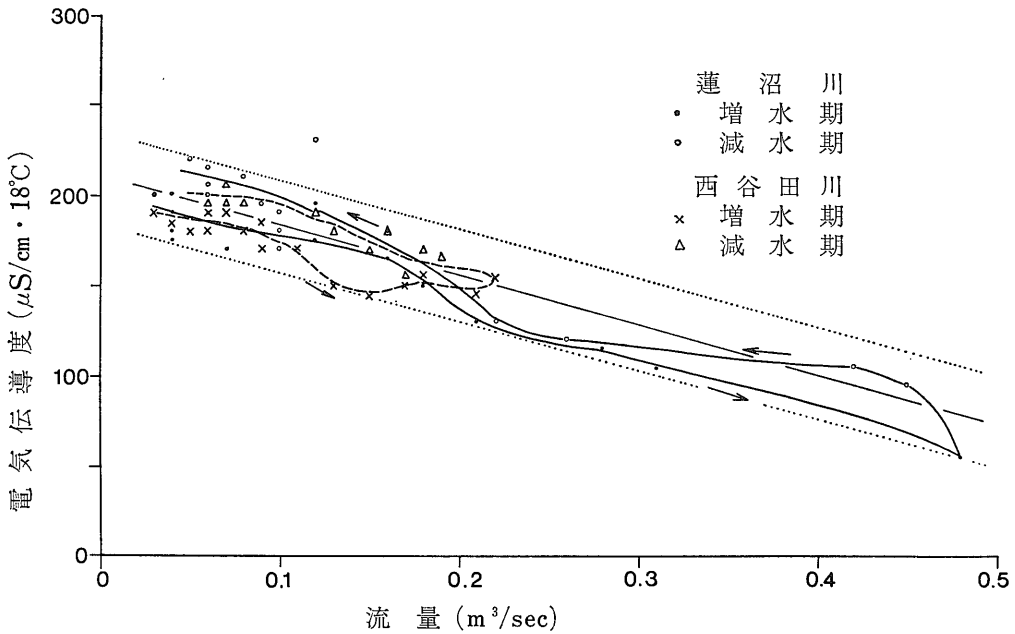
上記の方法を 両河川のハイドログラフの分離に適用し 結果は第8図に示した。

蓮沼川は 降雨開始後1時間で 西谷田川は 4時間で 直接流出が発生し 直接流出量は河川流量が増大するに伴って増加している。式(4)において 直接流出水の電気伝導度を 20または $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ と変化させても 得られる直接流出量の計算結果に著しい差異は生じない。

式(4)によって得られた直接流出量を流域面積で割ると 単位面積当りの直接流出量(すなわち 流出高のこと)が求められる。両流域における 流出高を 筑波大学 水理実験センター(E. R. C.)の圃場で実測した値と合わせて 第9図に示した。それによると 蓮沼川流域



第6図
蓮沼川東平塚橋
における水位流
量曲線

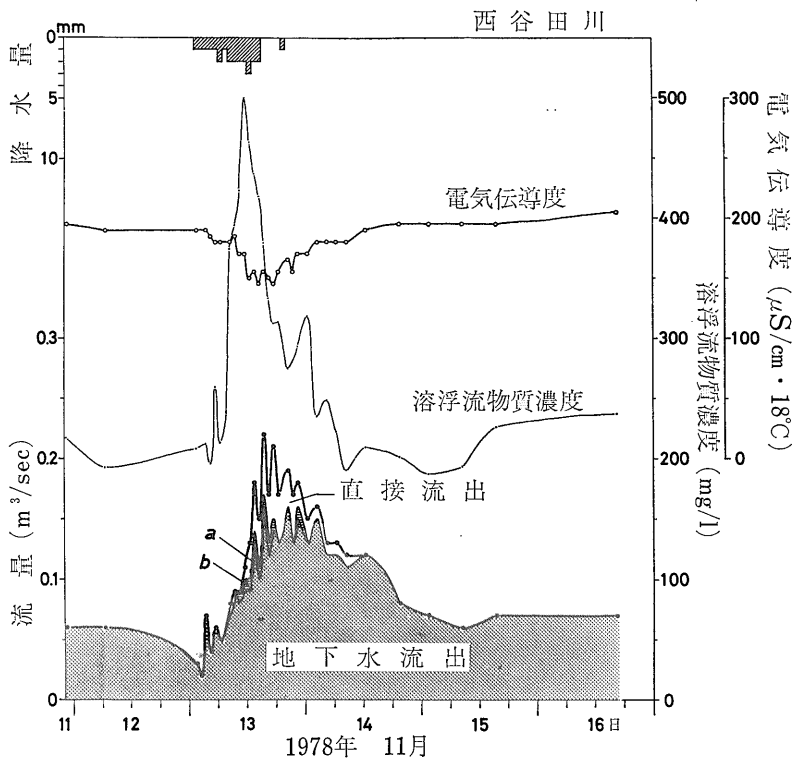
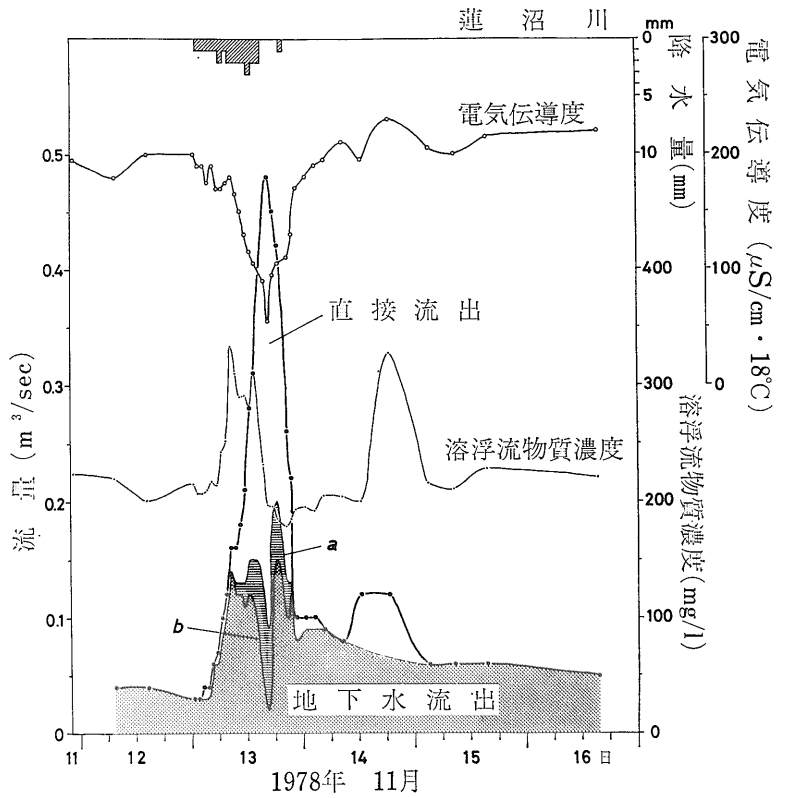


第7図 蓮沼川および西谷田川における流量と電気伝導度との関係

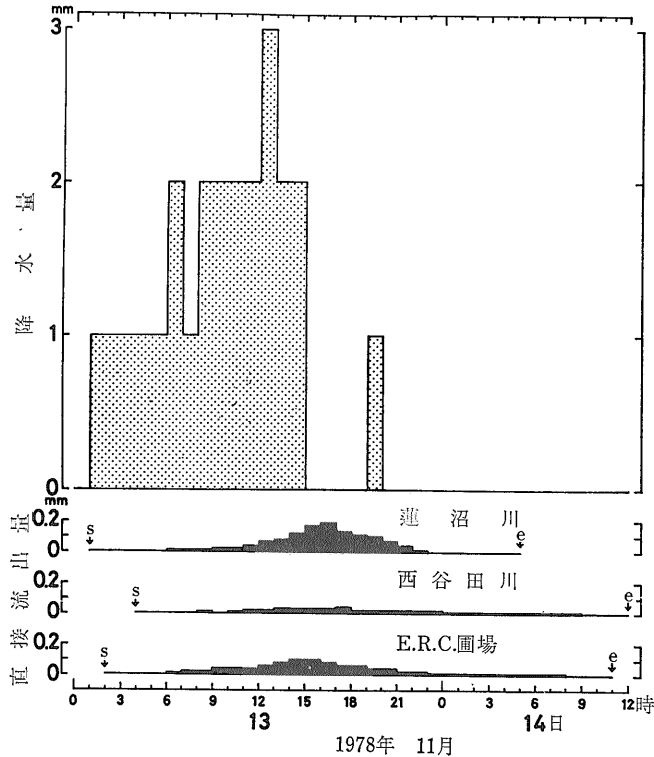
の方が 西谷田川流域より直接流出開始 終了がともに早く 流出高も大きい。蓮沼川流域の直接流出の状況はE. R. C. におけるそれと かなり似ているが 後者の方のピークが2時間ほど早く現われ ピーク後の減水部の裾が長く伸びている。この原因は E. R. C. の圃場の面積が約 2万 m² と小さいのでピークの出現が早く

一面牧草地であるため水もちがよいことが考えられる。

第3表には 両流域と E. R. C. で実測された流出高総量と この期間の総降水量24mm に対する比率の比較を示した。直接流出率は蓮沼川流域で4~5% 西谷田川流域で2%弱で きわめて小さい値であった。



第8図
蓮沼川および西谷田川における
ハイドログラフの分離と
電気伝導度および溶浮流物質
濃度の変動
図中 網部は直接流出水の電
気伝導度を50 横線部は $20\mu S/cm$
とした場合を示す。



第9図
直接流出量と降水量との関係
sは直接流出開始 eは終了を示す。

第3表 両流域における直接流出量と筑波大学水理実験センター圃場における実測値の比較

流域名と面積	蓮沼川流域	西谷田川流域	筑波大学水理実験センター圃場 (実測値)
直接流出水の電気伝導度	8.7km ²	6.8km ²	0.02km ²
20 μS/cm	0.98 mm (4.1%)	0.36 mm (1.5%)	0.92 mm (3.8%)
50 μS/cm	1.20 mm (5.0%)	0.43 mm (1.8%)	

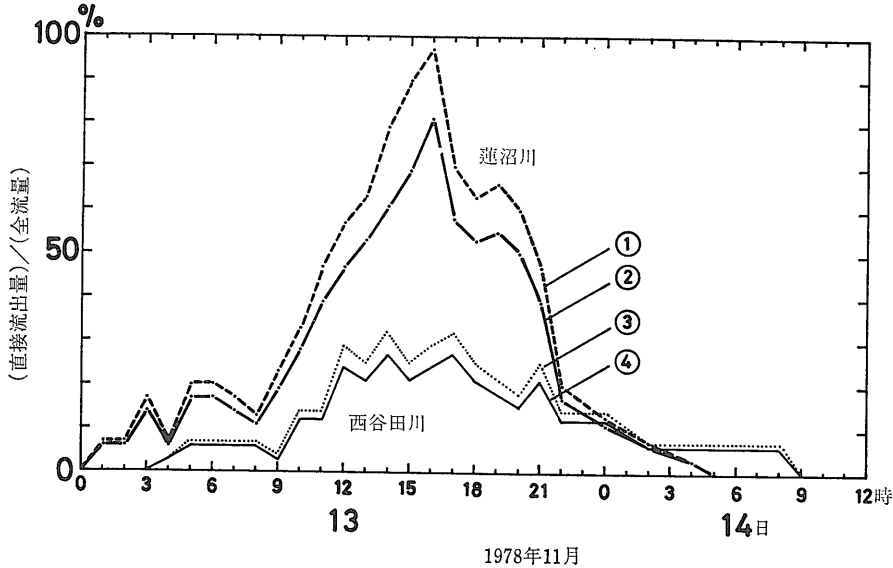
カッコ内は総降水量24mmに対する直接流出量の割合を示す。

E. R. C. における実測値は0.92mmで 総降水量の3.8%であった。蓮沼川流域の直接流出率は 両流域の面積比1.28を考慮に入れても 西谷田川のそれの2.7~2.8倍と大きな値を示し 都市化の影響を反映した結果と考えられる。両河川の総流量に対する直接流出量の割合の経時変化は 第10図に示される。図より都市化が進展している蓮沼川流域の方が 西谷田川流域よりもその割合はるかに高いことがわかる。

第8図で注目されるのは 地下水流出成分が 河川流量の増加とともに増大し その割合は直接流出成分をはるかに凌いでいる点である。従来までの両成分の分離法(たとえば Linsley, R. K. et al., 1949など)によると 降水時およびその後の河川流量の大部分は 直接流出成分によって占められ 地下水流出成分は降水前と同じかそれ以下であるという考え方であった。しかし それらの方法は 多分に概念的であって 実証的な方法とは言い難い。それらは 簡易法としては有用であっても 直接流出成分が過大評価されすぎるきらいがあった。

最近 水分子を構成する水素や酸素の同位体や 電気伝導度を指標として これら2成分の分離を試みた報告が多くみられるようになってきた(たとえば Dincer et al., 1970; Martinec et al., 1974; Fritz et al., 1976などである)。それによると 降水時およびその後の河川流出量の大部分は 従来考えられていた直接流出成分ではなく 地下水流出成分によって占められるという事実が明らかにされた。

今回筆者が扱った両河川の下流域において 田中ら(1980)は環境トリチウムと電気伝導度をダブルトレーサーとして 同様な方法でハイドログラフの分離を行っ



第10図
総流量に対する直接流出量の割合
①, ③は直接流出水の電気伝導度が $50 \mu\text{S}/\text{cm}$
②, ④は $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ の場合を示す。

たが 結果は筆者のそれを支持するものであった。

第8図の蓮沼川のハイドログラフの分離においてピーク時に一時的に地下水流出成分が減少し直接流出成分が増大する現象が見られる。本地域のように地下水水面が1~2mぐらいのきわめて浅い場合 地表水の地下浸透による地下水水位と河川水位の上昇速度のバランスがとれている時は 第11図に示したように地下水から河川水へのかん養が定常的に行われる(図中a)。しかし Linsley, R. K. et al. (1949) も指摘するように 直接流出水の急激な増加によって 地下水のかん養速度よりも河川水の水位の上昇速度が大きくなった瞬間(図中b)に一時的に河川から地下水へのかん養が現出することで 上述の現象は説明できる。

7. 蓮沼川流域における直接流出量の評価と将来予測

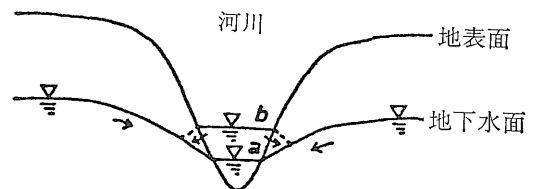
蓮沼川流域の いわゆる都市化域以外の地域の環境は純農村的景観の西谷田川流域におけるそれと ほとんど変わらない。このことは 両地域における直接流出率は ほぼ等しいと考えて差しつかえないということを意味している。

そこで 上述のように直接流出水の電気伝導度を $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ と仮定した場合 西谷田川流域の直接流出量は 0.43mm と算出されたので その流域面積 6.8km^2 で割った商が直接流出率で $0.06\text{mm}/\text{km}^2$ となる。この値に蓮沼川の都市化されていない地域の面積 4.7km^2 を剩じれば この地域の直接流出量が算定でき 0.30mm となる。さらに 蓮沼川流域全体の直接流出量が 1.20mm と算定されているので 0.30mm を減じると 都市化域の直接

流出量は 0.90mm となり 直接流出率は都市化域の面積 4.0km^2 で割った商の $0.23\text{mm}/\text{km}^2$ と算定される。都市化域における直接流出率は それ以外の地域のその約4倍の値を示している。この結果は 直接流出水の電気伝導度を $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ と置き換えても ほとんど変化は生じない。

現在の筑波研究学園都市内の 各試験研究機関の占有面積に対する 構築物や舗装道路などの非浸透域の割合は 空中写真により判読すると 約30%前後と推定される。残りの約70%は 芝生や林地となっている。

仮りに 都市化域における現在の非浸透域の割合が将来にわたって 約30%と変化しないとすると 第12図のように 都市化域の増大につれて 流域全体に対する直接流出量が増加し 都市化域以外の地域の直接流出量が減少することが予測できる。蓮沼川流域が完全に都市化され 今回と同様な降水があった場合 流域全体から排出される直接流出量は 現在のその約1.6倍と計算される。



第11図 洪水時における河川水位と地下水水位の関係

8. ま と め

都市化を水質の面からアプローチする場合 従来から COD や BOD さらに ABS などの指標が用いられてきたが 筑波研究学園都市の場合は 現在のところ人家が密集する都市化ではなく 非浸透性の面積が拡大し また建設途上の溶浮流物質の増大など いわゆる都市化の現象としては きわめて特殊な事例である。したがって 従来使われてきた上記のような指標を用いても 本地域の都市化を把握することはできない。

今回 筆者が用いた電気伝導度は 本地域における すぐれた都市化現象追跡の指標になることが証明された。今回のように 合計24mmの しかもベタ降りの降水でさえ 完全に都市化された場合 約1.6倍の直接流出量の増大を見られるということは 重大なことを意味していると思われる。すなわち 東京などの大都会に見られるような 無秩序な市街地化が 蓮沼川流域にも進展し 現在の約30%の非浸透域が それ以上の割合になり しかも 今回以上の集中的な降水があったと仮定した場合 その時の直接流出量の急激な増大は予測できないばかりでなく 河川災害の危険さえ包含していると思われる。

今回の観測によって 蓮沼川流域の都市化が きわめて 顕著に進行しているのが認められたが 今後はさらに 異なるタイプの降雨の際の流出特性の把握 および数年間にわたる継続的な観測によって より一層 本地域の都市化の進展状況が定量的に評価されよう。

本観測に際して 筑波大学水理実験センターの古藤田一雄助教授および佐倉保夫博士には 多大の御支援と御教示をいただいた。また 地質調査所水資源課黒田和男課長には 本文校閲の労をお願いした。ここに厚くお礼申し上げる。

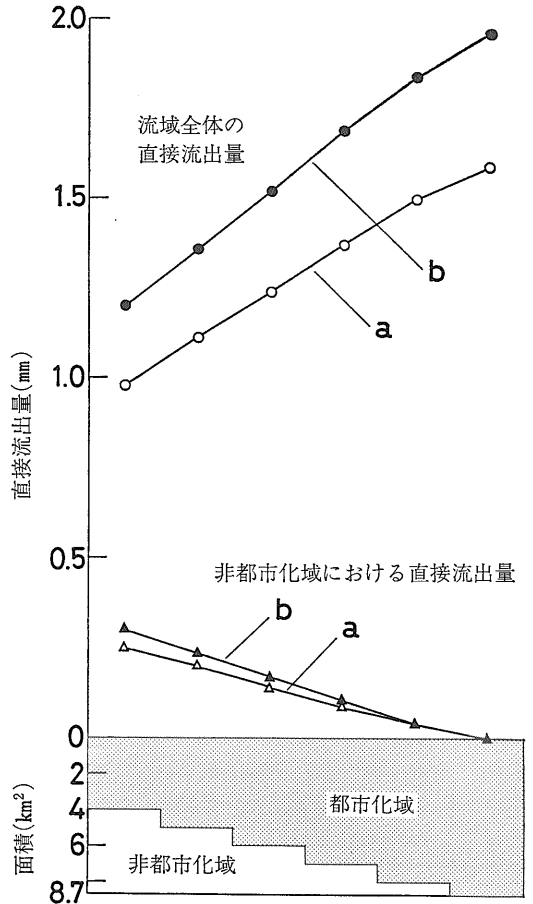
参 考 文 献

Dincer, T. et al. (1970) : Snowmelt runoff from measurements of tritium and oxygen-18. Water Resour. Res., vol. 6, pp.110-124

Fritz, P. et al. (1976) : Runoff analysis using environmental isotope and major ions. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology. I. A. E. A., Vienna, pp.111-130

Linsley, R. K. et al. (1949) : Applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, 689 p.

Martinez, J. et al. (1974) : New insight into the runoff mechanism by environmental isotopes. Proc. Symp. on Isotope Techniques in Groundwater Hydrology.



第12図 蓮沼川流域の都市化の進展に伴う直接流出量の予測
 図中 a b は 直接流出水の電気伝導度をそれぞれ 20 および 50µS/cm として計算した結果を示す。

No. 1, I. A. E. A., Vienna, pp.129-143

Tagutschi, Y. (1981) : Effects of urbanization on small rivers. Beiträge zur Hydrologie (in press)

田口雄作ほか (1979) : 筑波研究学園都市およびその周辺地域における河川の流出特性について 第3報. 筑波の環境研究, No. 4, pp.162-166

田口雄作・市川正巳 (1979) : 台地小流域河川への都市化の影響. 日本地理学会予稿集, 16, pp.110-111

田口雄作 (1979) : 台地小流域河川への都市化の影響(第2報). 日本地理学会予稿集, 17, pp.158-159

田中 正ほか (1980) : 蓮沼川および西谷田川の流出特性について——トリチウムと電気伝導度によるハイドログラフの分離——. 筑波の環境研究, No. 5A, pp.20-25