

(6) 都市河川における自流量の推定と

その流出形態

Estimation of Groundwater Runoff in Urbanized Basin.

山田 啓一*

KEIICHI YAMADA

1. はじめに

都市化による水文環境の変化は、不浸透域の増加、地表面貯留量の減少、地表面粗度の減少、などに起因して、直接流出成分の増加、洪水到達時間の短縮といった現象につながり、洪水ピーク流量の増加が示されその機構と対策についても論じられてきた。

しかし、都市化現象は、こうした短時間の流出現象に影響を与えるばかりではない。人間活動の結果としての雑排水量は一部は地下水帯へ、多くは河川へ排出され、平時の河川水に占める割合は量的にも質的にも大きくなっている。また、地表被覆の変化は、雨水の浅層地下水帯への浸透量を減少させる。さらに、河川改修工事や地下構造物の建設は、浅層地下水流動に変化を与える。浅井戸、深井戸の揚水は当然周辺地下水位の低下を引き起こす。

近年、都市河川は貴重な水辺空間であり、地域環境の重要な要素として注目されてきた。良好な水質をもつ河川水が自然の地形や植生と合成された景観は、コンクリートジャングルに住む都市住民にとって欠けがえのない安らぎを与えることとなる。下水道の普及に伴い、雑排水量が減少し、湧水や地下水流出量の比較的豊富な河川においては、「良好な水質と一定の水量」が流れる河川への回復が期待される。浅層地下水帯における地表からの供給機構、河川への流出機構は、都市活動によって大きな影響をうけると考えられるが地下水帯の構造が複雑であり、その直接測定が困難なため、まだ十分明らかにされていない。

本研究は、河川環境の必須条件である良好な水質をもつ地下水流出量（自流量）を推定し、その流出形態を考察する。自流量を推定する方法は、流出解析法によって降水量から算定する方法と平時の観測流量から都市活動に起因する雑排水量を差し引く方法がある。都市河川の水文資料は乏しく、流域界や排水条件が複雑であること、自流量の流出形態、流出区域検討を重要課題としていることから、本研究では後者の方法を採用した。

また、対象河川として、自流量が豊富で近年都市化の著しい武蔵野台地北部の落合川流域を選んだ。

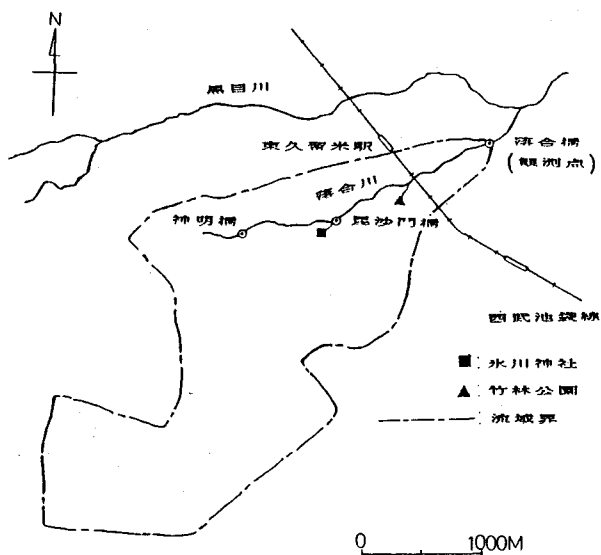


図-1 河川流量・湧水量観測結果

2. 対象流域の概要と流量・水質測定

2.1 対象流域の概要 落合川は、東京都東久留米市前沢町に源を発し、武蔵野台地を北東へ黒目川と平行して流れ、埼玉県境で黒目川と合流する。河道延長3.6km、流域面積6.8km²(東久留米市5.45km²、小平市1.35km²)の小規模な1級河川である。(図-1)

東久留米市の下水道普及率は30%(1984年4月)であるが、近い将来100%に達する予定である。湧水流出箇所が河道沿いに点在し、その流量の殆んどは、降水を起源とする自流量であると考えられる。また河道内の所々に砂れき層の露出が観察され、これらからの湧出水も見込まれる。

2.2 流量・水質の測定 都市河川の平時の流量のかなりの部分は、都市活動に伴う雑排水量が占めている。雑排水量は都市活動のパターンによって1日を周期とする時間的変化が著しいが、季節変化は比較的小さい。一方、自流量は時間的変化は小さいが、季節変化は大きいと考えられる。上記の理由から、落合川(落合橋)地点の流量、水質を次の要領で測定した。1)平時(無降雨日5日後)の流量の安定する午後1時~3時の間を基準として、月1回流速計により流量観測を実施する。2)同時に測定が容易で、雑排水の分離に關係の深い水質(水温、pH、電導度)を測定する。3)同一観測日における主要湧水地点(竹林公園、水川神社)の流量・水質を観測する。観測期間は、1984年6月~1985年6月である。(図-2)河川流量は、11月をピークにして、2月には最少となり、4~6月は急激に増大した。電導度は、流量とは逆に'84年6月に高く、10、11月に低下し、ふたたび上昇した後'85年4~6月では300 μ S/cm以下となっている。pHは6~7の間で変動パターンは明瞭でない。水温は夏季に21°Cで冬季に12°Cである。湧水量は、竹林公園が比較的安定し、秋季に大きく冬季に小さい。'85年4~6月は約2倍になった。水川神社の湧水量は、これと比較するとやや変動量大きい。電導度は、竹林公園が水川神社より低く、安定している。水温は、水川神社

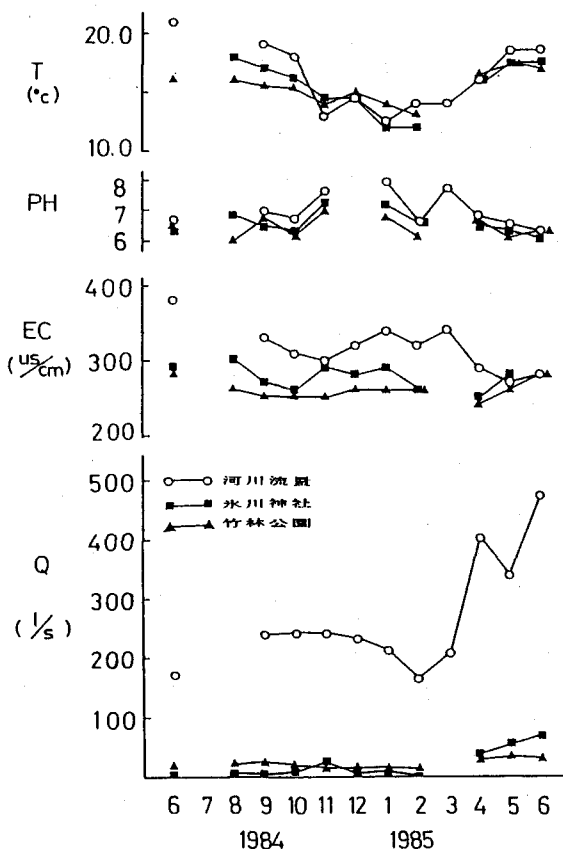


図-2 河川流量・湧水量観測結果

に比べて竹林公園は変動幅が小さいが、そのパターンは夏季に高く冬季に低い。pHは、両地点とも毎回ほぼ同じ値を示すがその変動傾向は、明確ではない。河川と湧水とを比較すると、次のようである。流量の変動パターンは共通しているが、変動幅は河川が大きい。電導度は河川よりも湧水の方がはるかに小さく安定している。水温の変化は、河川水が大である。pHは河川水の方が大きい、その変動傾向は明瞭ではない。河川流量および湧水量と水質の時間変化を図-3に示す。同図によれば、河川流量は、未明に最低値を示し、早朝より急激に上昇して、9時前にピークとなるほぼ、一日の生活パターンを反映していると考えられる。一方、湧水量は、時間的変化は極めて小さく、一日の生活パターンの反映も認められない。電導度もほぼ一

定値を示している。以上のことから、湧水はその大半が、降水に起源をもつ地下水流出量であり電導度がその指標となると考えられる。

3. 自流量の推定とその季節的変化

都市河川における自流量の推定には雑排水量の評価という困難な課題があるが、流出モデルによる方法、¹⁾⁻³⁾ 雑排水量を給水量などから差し引く水収支法、⁴⁾⁻⁶⁾ 水質指標を用いた混合方程式法⁷⁾⁻⁸⁾ などがある。実測値が豊富で境界条件が明かな場合は流出モデルが有効と考えるが、本研究では自流量そのものを正確に把握することに焦点をあて、水収支法と混合方程式法の独立した方法で推定することにした。

3.1 水収支法による自流量の推定

雑排水量を(1)式により求め、実測流量から差し引いて、自流量を求める。

$$Q_w = \Sigma \{ (W_i \times f_w + W_{si}) \times A'_{wi}/A_{wi} \times A'_{di}/A_{di} \} \text{ ----- (1)}$$

ここに、

Q_w ; 対象流域内の雑排水量

W_i ; i 市の水道給水量

f_w ; 有効給水率 (1 - 漏水率)

W_{si} ; i 市の水道以外の水使用量

A_{wi} ; i 市の給水面積

A'_{wi} ; A_{wi} のうちの流域に含まれる面積

A_{di} ; i 市の流域内排水面積

A'_{wi} ; A_{di} のうち対象河川に排出される面積

i ; 流域に関連する市

W_i 、各市の配水場の時間給水量データより得られるが、 W_{si} の実測値はない。小口径のものを除き東京都環境保全局によるアンケート調査をもとに、独自の地下水による当該流域への排水量を概算すると年平均30 l/s程度である。しかし、時間変化は不明であるので、ここでは $W_{si}=0$ として後に考察する。

3.2 混合方程式法による自流量の推定

河川水と湧水の流量・水質測定結果から自流量の変化と電導度の変化が対応すると考えられる。電導度はイオン化傾向の高い物質が溶存していると高い値を示し、佐谷戸らによると、総硬度、カルシウム硬度、マグネシウム硬度と相関性が高いと報告されている。電導度は、地中を流下するにつれて大きくなるが、落合川のような小流域では、その変化量は無視してよいと考えられる。

河川流量が雑排水量と自流量により構成されているとし、保存性の高い水質項目を選べば、次式を得る。

$$\begin{aligned} Q_r &= Q_w + Q_g \\ Q_r \cdot C_r &= Q_w \cdot C_w + Q_g \cdot C_g \end{aligned} \quad (2)$$

ここに

Q_r ; 河川流量

C_r ; 河川水質濃度 (電導度)

Q_w ; 雑排水量

C_w ; 雑排水の水質濃度 (電導度)

Q_g ; 自流量

C_g ; 自流量の水質濃度 (電導度)

C_w は、落合川に排水される排水口の電導度を測定した結果により、450 $\mu\text{s}/\text{cm}$ の一定値とした。

C_g は、流域内の浅井戸や湧水の電導度から 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ の一定値と仮定した。

Q_r と C_r は実測値を用いて (2) 式より Q_g を求めることができる。

3.3 結果と考察

水収支法と混合法によると算定結果を図-4に示す。両者は、類似した変動傾向を示し、算定値は、ほぼ一致した。なお水収支法による値が混合法による値より常に 10 l/s~40 l/s 大きくなっている原因は、3.1 で述べた様に、水道以外の水使用量 $W_{si}=0$ としたが、これに起因する当該地点への雑排水量は年平均で 30 l/s と推算されることを考えると、両者はほぼ一致したと考えてよいだろう。

自流量は 10 月~11 月にピークを示し、2~3 月に最低となり、4~6 月に急激に上昇した。月降水量との関係は、1~2 月遅れて現れている。また、自流量と湧水量は、その変動傾向は類似しており、湧水以外からの流出量 (河床より直接浸出していると考えられる。) は、25 l/s~240 l/s で、湧水量の 1.5~2.5 倍に相当し、湧水に比べてその変動幅が大きいことが指摘される。

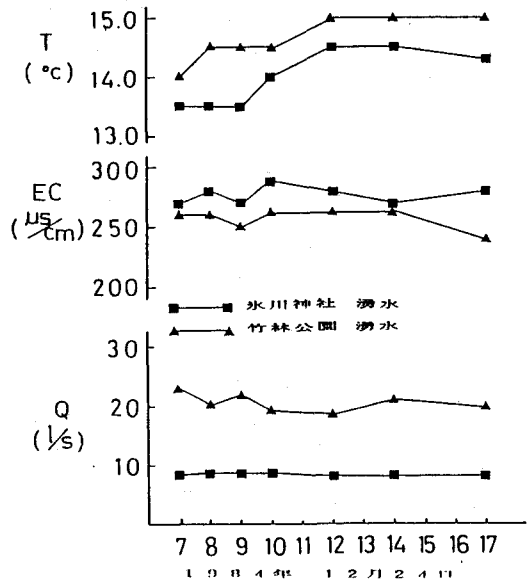
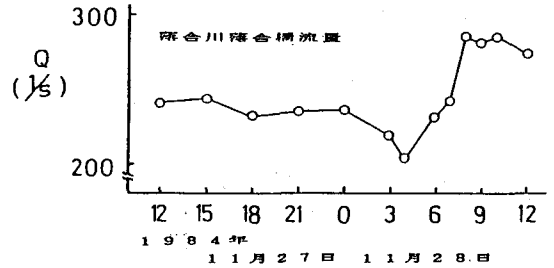


図-3 河川水・湧水の時間変化

4. 自流量の流出形態の考察

3 章において、自流量は主要な湧水地点から 30~40% が流出しているが、他には湧水地点はないので、砂れき層の露出する河床から湧出していると考えられる。地下水位と河床高の比高を求める一方、自流量の空間分布を明らかにするために、落合川の 3 地点 (図-1) において同時観測を実施した。流域内の 4 地点の地下水位を測定 ('85 年 1 月 13~15 日) した結果、細野による 1968 年 2~3 月の地下水面図とほぼ一致したために、同図も参考にして地下水位を求めた。河床は、橋梁上の道路面までを水準測量し、1/2500 図上基本図より標高を求めた。

落合川での 3 地点観測 ('85 年 1 月 24 日) は、3 章で述べた方法が他地点にも適用できると考えて、流量と電導度を測定した。この結果を図-5 に示す。同図の横軸は各地点の地表面の流域面積であるがこれらが地下水流域面積と一致すると考えると、単位面積当りの自流量は神明橋地点で 4.6mm/日、毘沙門橋地点で、0.6mm/日、落合橋地点で 1.8mm/日である。

地下水位と河床高の関係は、毘沙門橋では約 20cm 河床高だが、他の 2 地点では 1m 近く地下水位が高く、これらの区間では自流量も大きくなっていることが注目される。

5. まとめ

本研究は、武蔵野台地北部を流れる落合川において、平時の河川と湧水の流量・水質を観測し、水収支法と混合方程式法の2法により降水に起源をもつと考えられる自流量を推定し、その流出形態を考察した。結果を以下に示す。

(1) 平時午後1～3時の河川水の電気伝導度は、 $300\sim380\ \mu\text{s}/\text{cm}$ で流量が減少すると電気伝導度は上昇する。

(2) 落合川の27所の湧水量の合計は $20\ \text{l/s}\sim100\ \text{l/s}$ で、河川流量の25%程度に相当する。

(3) 湧水の電導度は、 $240\sim290\ \mu\text{s}/\text{cm}$ で、水温の変化も小さい。

(4) 河川流量の時間的な変化は、未明に最低値となり、午前8～9時に最高値を示し、一日の人間活動のパターンに強く影響される。

(5) 湧水量の時間変化は小さく、電導度・水温などもほぼ一定している。

(6) 降水に起源をもつと考えられる自流量を、水収支法・混合方程式法の2方法により推定した。両者はほぼ一致し、その変動傾向は湧水量のそれと類似した。

(7) 自流量は1～3ヶ月前の月降水量と対応し、記録的な少雨であった1984年と1985年前期とを比較すると自流量は倍加している。

(8) 自流量の60～70%が上記した湧水地点以外の主として河床から直接流出すると考えられる。

(9) 自流量の流出は、落合川（落合橋地点）の上流と下流端で多く、これらの地点の地下水位は河床高より約1 m高い。また、中流では、自流量は比較的小さく地下水位より河床高が高かった。

本研究で得られた自流量は、降雨条件によりかなり大きく変動するが、武蔵野台地南部の野川などの観測値に比べてもかなり大きな値である。帯水層の条件、地表面の被覆状況、河川の位置などによると考えられるが、自流量の保全と河川浄化可能性は高く、とくに河川改修工事に配慮すれば、今後良好な環境要素となると考えられる。

なお、地下水位や降水量を用いた流出機構の検討、武蔵野台地全体の地下水流動の考察などを通じて、より一層正確な把握が必要とされる。

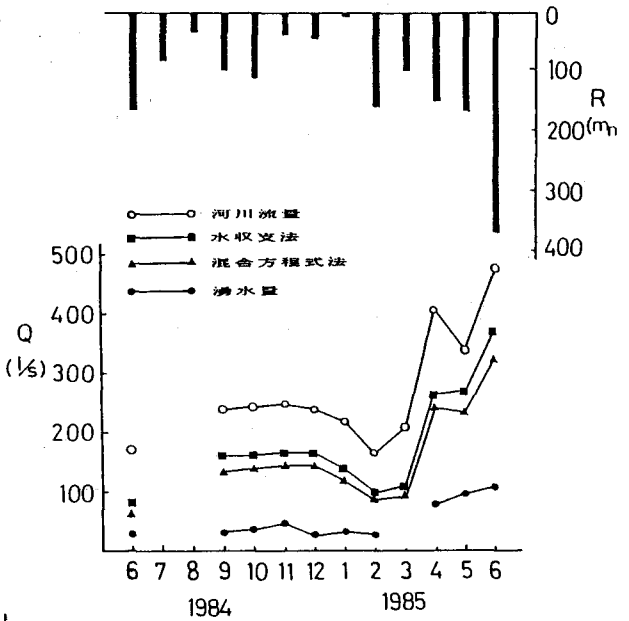


図-4 自流量の推定結果

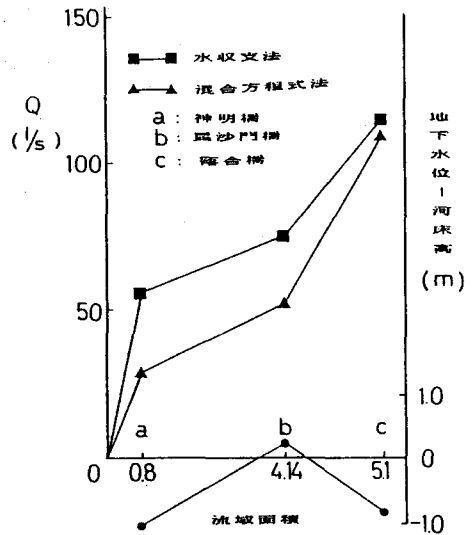


図-5 自流量の空間分布

本研究をすすめるにあたり、消防研究所細野義純博士、東京都土木技術研究所の諸氏に有益な助言をいただいた。法政大学工学部牧野立平氏および学部学生の皆さんに多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 黒羽 公明、和泉 清：流域の都市化に伴う野川の水収支の変化について（その1）、昭和58年東京都土木技研年報、1983、pp.85~94.
- 2) 国分 邦紀、守田 優：北多摩地区浅井戸の地下水位解析とかん養量について、昭和56年東京都土木技研年報、1982、PP.181~192.
- 3) 国分 邦紀：多摩地区の地下水かん養機構について、昭和54年東京都土木技研年報、1980、PP.177~184
- 4) 和泉 清、渡辺 浩章、国分 邦紀：都市河川の水収支に関する研究（その1）、昭和49年土木技術研究所年報、1975、PP.51~61.
- 5) 米田 宗弘、和泉 清、渡辺 浩章、国分 邦紀：都市河川流域の水収支に関する研究（その2）、昭和50年東京都土木技研年報、1976、PP.113~124.
- 6) 黒羽、公明、和泉 清：流域の都市化に伴う野川の水収支の変化、昭和58年東京都土木技研年報、1983
- 7) 水谷 淳、虫明 功臣：武蔵野台地における水循環環境に関する研究、土木学会第25回水理講演会論文集、1981、pp.153~160.
- 8) 安藤 義久、大隅多加志、高橋 裕、松尾 禎士：都市河川の環境維持流量としての地下水流出の形態とかん養源に関する研究、第一回環境問題シンポジウム論文集、1983、pp.15~20.
- 9) 佐谷戸 安好、中室 克彦、近藤 稔、小田切 芳典、大竹 正人、土岡 松男：前橋市付近の地下水水質の地域的特性、水道協会雑誌第53巻第8号、1984、PP.8~13.
- 10) 細野 義純：武蔵野台地における地下水の測水資料、消防研究所技術資料、第1号、自治省消防研究所1968.