

(8) 都市河川における水循環機能の評価

—武蔵野台地落合川・野川流域を対象として—

EVALUATION OF HYDROLOGICAL SYSTEMS AT URBAN AREAS.

山田 啓一*

KEIICHI YAMADA*

ABSTRACT; To separate non-polluted ground water run-off originated by precipitation from observed river discharge at urban areas, electric conductivity of water was measured at wells, springs and gauging stations of rivers.

Electric conductivity of water is closely related to concentration of chloride and different basins have each regression lines.

From these lines electric conductivity of non-polluted ground water (C_g) was estimated and non-polluted ground water run-off (Q_g) was evaluated by observed discharge and electric conductivity of water at each rivers.

KEY WORDS; non-polluted ground water run-off, urban area, electric conductivity.

1. はじめに

都市河川の水循環は、汚濁発生源対策と下水道普及によって改善されてきたが、当初これらの事業が完成後に予測された水準にはなお到達していない。

その原因は、流域の都市化が水循環機能を低下させ、雨水を起源とする清浄な河川流出水（これを自流量と呼ぶ）の絶対量を減少させ、その時間的空間分布を変化させたことによると考えられる。すなわち、水質改善にとっても、自流量の量的保全が不可欠である。

都市流域では自然流域とは異なり、地下水、河川水は都市排水などの影響を強く受け、観測された流量等から自然循環量である自流量を求めるには、これらの人為的影響を分離しなくてはならない。

著者は、河川水、湧水、浅層地下水の流量、水位、水質の継続的な観測から電導度が自流量と都市雑排水を分離する有力な指標であることを示し、流水と汚濁負荷量の質量保存則から自流量を推定し（混合法）、これとは独立した時間給水量記録から下水道普及区域などを勘案して算出した自流量（水収支法）とがほぼ一致することを明らかにした。^{1)~2)}

なお、混合法のパラメータ、とくに自流量の電導度 C_g の他流域の適用性についてが課題となっていた。本研究は対象地域を落合川からその南部、野川流域にまで広げ、水質項目として塩素イオン濃度 Cl など加え、地下水、湧水の水質特性を考察し電導度による混合法の他流域への適用を試みた。

2. 対象地域と地下水、湧水の水質

対象地域は図-1に示す東京都東久留米市の武蔵野台地を流れる落合川及び比較地域として南部の野川に至る地域である。

*法政大学工学部土木工学科 College of Eng. Univ. of Hosei

さて、本研究における河川、湧水、浅井戸の水文観測から以下の事柄が示された。①河川流量の増加と共に電導度は低下する。②浅井戸の電導度の季節変化は認められないが、空間分布は下水道整備区域と強く関係する。③湧水の電導度は河川水より小さく、ほぼ一定値である。なお、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、地中を流下すると共に高くなる。雨水の電導度が $3 \sim 10 \mu S/cm$ のオーダーであるのに対し、当地域の浅井戸の電導度は $150 \mu S/cm$ 程度以上の値である。

すなわち、自然の水循環過程で得る電導度値自身も厳密には時間的、場所的に変化すると考えられる。しかし、水循環過程が安定した小流域内ではその変化は小さく、異なる水循環過程を持つ他流域との間ではその値に差が認められると考えられる。

以上の予察から、落合川とその南部野川流域について浅井戸、湧水の水質(EC, Cl, pH, 水温)観測を実施した。図-2に塩素イオン濃度Clと電導度ECの関係を示す。Clはそれ自体都市活動により排出された、当地域では硝酸系物質とも高い関係にあると指摘されている。³⁾

図-2によれば、ECとClはほぼ直線関係が認められるが、落合川と野川流域では明らかに異なった関係にある。傾きの差の原因は不明であるが、切片の差は個々の流域の自然の水循環過程で得た電導度起因すると考えられる。たとえばCl濃度

14 ppmに対応するECは落合川で $220 \mu S/cm$ 、野川では $150 \mu S/cm$ である。これらの値はそれぞれの流域で、雨水が土中を浸透する過程で得た自然状態の電導度と考えられ、各流域でのCgの平均値を表している。

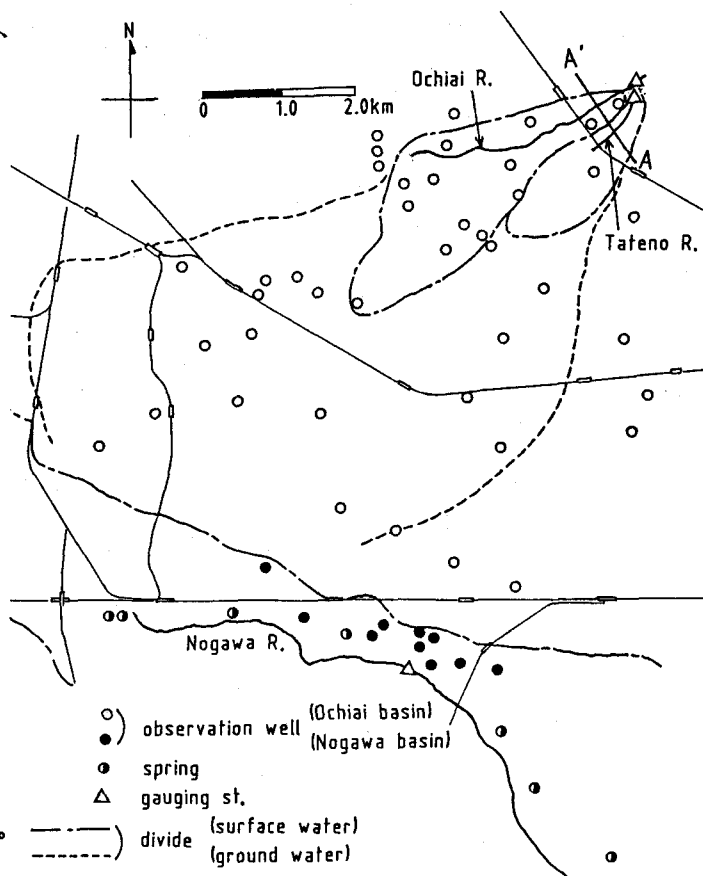


図-1 対象流域概要図

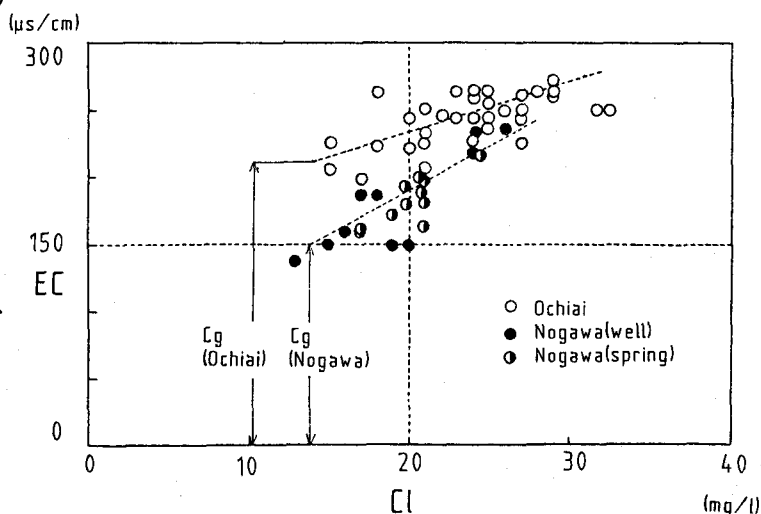


図-2 浅井戸と湧水の水質

3. 落合川における自流量とその流出機構

(1) 水文、水質観測と自流量の推定

落合川（落合橋地点）と湧水湧出水地点において毎月1回（無降雨日5日後）流量、水質観測を1984年6月以降継続してきた。また、浅井戸水位、水質観測を年4回実施している。これらの観測値の性質は基本的に前回²⁾と同様であり、河川流量と湧水量は季節変動が大きく、地下水位は武蔵野台地では1～2mの変動が見られるが、落合川低地の浅井戸では水位変化は50cm以下であった。また、東久留米市の落合川流域を9つに区分し、平均電導度と地下水の流向を考慮した下水道整備率との関係は、図-3のようであり、とくに85年度中に下水道の整備が進んだ、2及び3地区で平均電導度が低下しており、その変化が明瞭に読み取れる。これらの観測データより混合法及び水収支法による自流量を推定した。なお、両方法による推定法は文献²⁾と同様である。

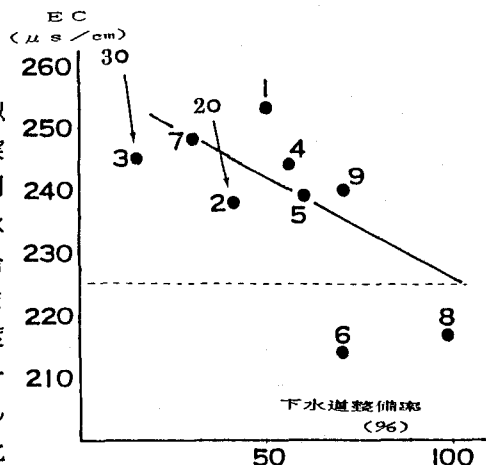


図-3 地下水平均電導度と下水道普及率

(2) 線型流出モデルによる自流量の算定

自流量の推定値の妥当性とその流出機構を解明するために、単位図を利用した線型流出モデルによる流出解析を次式により試みた。

$$Q_g(t) = \sum \gamma e(\tau) U(t-\tau); (\tau=0 \sim 5) \quad (1)$$

$$\gamma e = P e - E - L + W \quad (2)$$

ここに $Q_g(t)$; t月の平均自流量 (mm/月)

$U(\tau)$; 線型核 (mm/月)

γe ; 浅層地下水補給量 (mm/月)

$P e$; 有効降雨量 (mm/月)

E ; 蒸発散量 (mm/月)

L ; 被圧地下水帯への垂直涵養量 (mm/月)

W ; 水道漏水量 (mm/月)

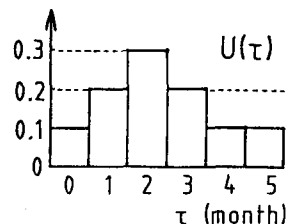


図-4 単位図

(1)式は γe が Q_g として流出する変換過程を示し、単位図 $U(\tau)$ は、試行錯誤法により図-4のような結果を得た。有効雨量 $P e$ は、落合川の表面流出解析より月降水量の68%とした。

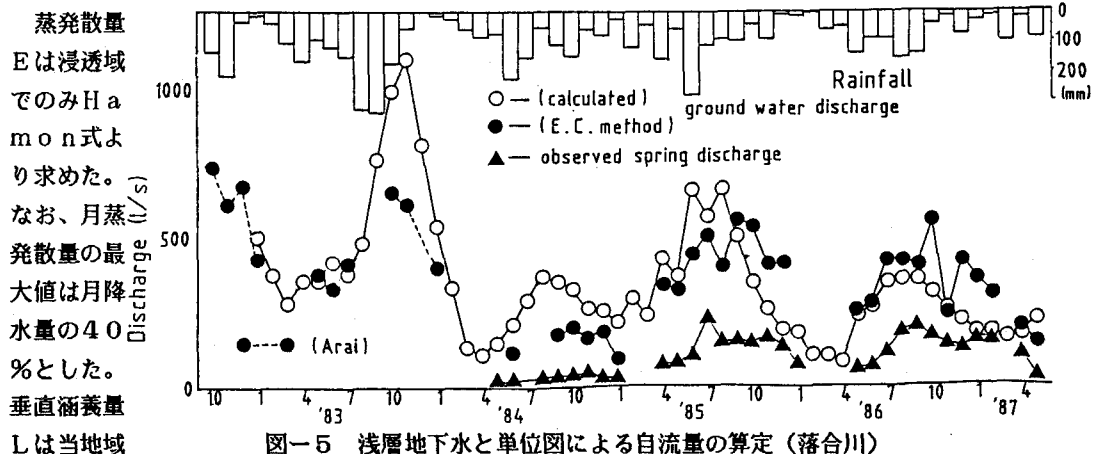


図-5 浅層地下水と単位図による自流量の算定（落合川）

平均被圧地下水揚水量と平衡状態にあると仮定し、 $3.8\text{mm}/\text{月}$ とした。水道漏水量 W は、東久留米市水道局のデータより $3.1\text{mm}/\text{月}$ とした。図-5に計算結果を示す。図中83年10月から84年1月の値は新井⁴⁾によって測定された河川流量と電導度を用いて、著者が混合法により自流量を推定した。なお同期間においても水収支法による推定値によって混合法推定値の妥当性が認められた。

単位図による月流出量と混合法による自流量はほぼ一致し、季節変動をよく表している。なお、多雨月には両者の差が大きくなるが、月一回の観測日が月の平均流出状態を反映しにくくなるためであろう。

(3) 落合川地下水流域の検討

さて、前項で得た流出計算

表-1 落合川・立野川同時観測結果

では、流域面積は 25km^2 と見積られ、落合川地表面流域(3.89km^2)の6.4倍に達する。落合川と直交するA-A断面(図-1)における断面図を示すと図-6のよ

	地表流域面積 (km^2)	1987. 1. 17			1987. 2. 9		
		Q_r (l/s)	C_r ($\mu\text{s/cm}$)	Q_g (l/s)	Q_r (l/s)	C_r ($\mu\text{s/cm}$)	Q_g (l/s)
落合川	3.89	404	280	359	355	280	295
立野川	1.38	96	481	20	117	427	44

うである。同図によると立野川の河床は地下水面よりかなり高く、武蔵野台地の地下水の大半は立野川をこして落合川に流出していると考えられる。表-1に立野川と落合川における同時観測の結果得た自流量を示す。同表からも立野川の自流量は落合川の約10%程度であり、地表面の流域面積(1.38km^2)に比べて極めて小さい。当地域の地下水面図からは河道に沿って北東方向への流動が推察されるが、落合川下流端付近では水面勾配がかなり複雑である。地下水面の検出可能な浅井戸が減少しているため現時点での正確な地下水面図の作成は困難であるが、前述した落合川と立野川の関係と細野⁵⁾によるデータを参考にすれば、図-1の区域が落合川の地下水流域として推定される。

4. 野川流域への混合法の適用

図-2で示したように、落合川と野川流域ではECとC1の関係が異なり、 C_g の値も野川流域の方がかなり小さいと推定される。これらの推察と混合法の妥当性を確認するために、野川流域において、新井⁶⁾によって測定された流量・EC記録から混合法を用いて自流量を推定し、水収支法によって得た値とともに図-7に示す。

同図によると $C_g = 150\mu\text{S}/\text{cm}$ による混合法の値は水収支法の推定値とよく一致し、野川流域においても本方法が適用できる

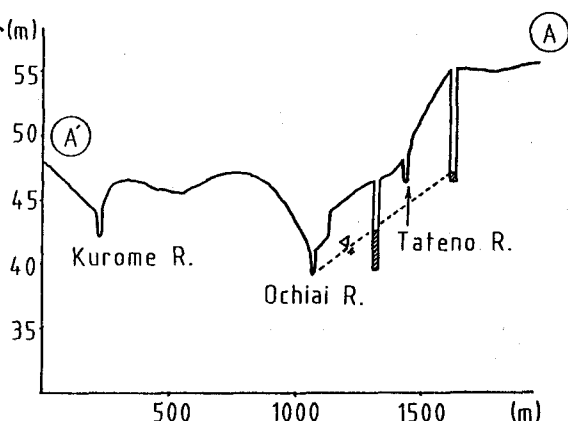


図-6 落合川と立野川の横断面図

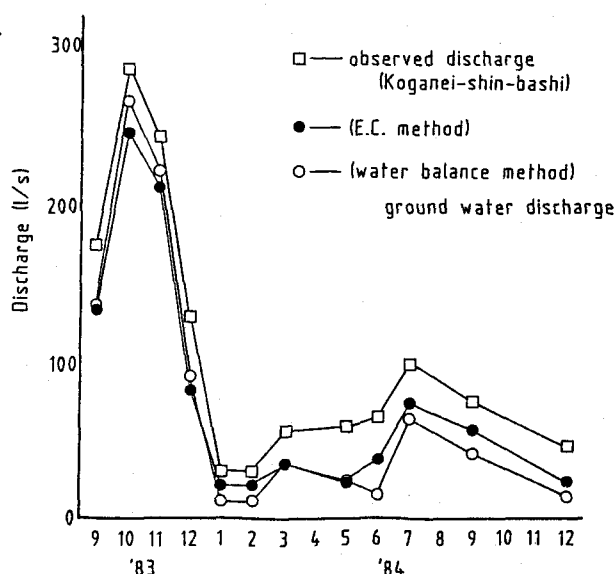


図-7 混合法による自流量の推定(野川)

と考えられる。なお、

表一2 落合川及び野川における自流量の流況

落合川と野川の自流量の流況を比較すると表一2のようである。観測間隔に統一性が欠けるが、地表面流域に比して落合川の自流量が

	地表面流域面積 (km^2)	1983年9月～12月			1984年		
		平均自流量 (l/s)	最大自流量 (l/s)	最小自流量 (l/s)	平均自流量 (l/s)	最大自流量 (l/s)	最小自流量 (l/s)
落合川 (落合橋)	3.89	(626)	(652)	(599)	208	422	177
野川 (小金井新橋)	19.27	168	246	82	36	73	21

極めて大きく流量変動が小さいことが判る。図一2で示したように落合川のCg値が野川よりかなり大きいことと合わせて、落合川は大きな地下水流域を持つ特異な河川といえよう。

5. まとめ

本研究では、自然の水循環過程で形成される電導度とその地域特性に注目したが、得られた主要な結論を以下に示す。

- ①浅井戸・湧水の電導度は塩素イオン濃度とほぼ直線関係にあり、野川流域と落合川流域で異なる回帰直線を持つ。
- ②上述の関係から、野川・落合川についてそれぞれのCg値を用いて混合法により推定した自流量は、水収支法の値とほぼ一致し、妥当性が確認された。
- ③落合川における、5年間の自流量推定値と月単位の浅井戸地下水帯の水収支式及び3カ月遅れを持つ単位図を用いて算定した地下水流出量とがほぼ合致した。
- ④上記の解析結果と隣接する立野川での同時観測から、落合川は地表面流域の数倍の地下水流域を持つことが示された。
- ⑤落合川と野川の自流量を比較すると、落合川が平均流量・最小流量ともに大きく安定していることが示され、Cgの差や地下水流域の性質と深い関係があることが示された。

なお、電導度の動的変動を含めた観測と解析により、水循環機能のより詳細な評価が可能と考えられる。

本研究をすすめるにあたって、東京都環境保全局斉藤氏、小金井市公害係倉氏、国分寺市都市整備部中村氏、東久留米市関係部局の皆さんに協力していただいた。

また、法政大学工学部牧野氏には観測指導にあたっていただき、学部学生小谷田、加納、進藤、北上の諸氏からは、観測・データ整理に多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山田啓一；都市河川における自流量の推定とその流出形態，第13回環境問題シンポジウム講演論文集，1985，pp. 32～37.
- 2) 山田啓一；電導度による都市河川の自流量の推定，第14回環境問題シンポジウム講演論文集，1986，pp. 13～18.
- 3) 吉田和広・小倉紀雄；野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源，地球化学，12，1978，pp. 44～55.
- 4) 新井正；東京都の中小河川流域の湧水と河川流量・水質，1987，p14.
- 5) 細野義純；武蔵野台地の不圧地下水（日本の水収支，市川他編著所版），古今書院，1978，p179.
- 6) 同上4)，pp. 23～25.
- 7) 東京都環境保全局；都内の地下水揚水の実態，1986.

- 8) 地下水ハンドブック編集委員会編；地下水ハンドブック，建設産業調査会，1979.
- 9) 小倉紀雄・宇田川隆男；青柳段丘の浅層地下水質，水道協会雑誌，529，1978，pp. 32～41.