

玉川上水における再通水の環境科学的評価 —地下水への影響—

Evaluation of Re-Flowing in Tamagawa Jousui Channel by Secondary Treated Waste Water —Effect on Groundwater—

田瀬 則雄*・秋山 聡**・小林 師***・細野 義純****

Norio TASE, Satoshi AKIYAMA, Ikusa KOBAYASHI, and Yoshizumi HOSONO

I はじめに

近年、水辺空間、親水(公園)あるいはウォーターフロントなどの用語が流行し、水に関わる空間に人々の関心が集まってきている。1986年8月、野火止用水に続いて玉川上水に流水が復活した。日量2万トン程度と流量は少ないが、新しい清流復活事業として注目を集めている。この東京都の清流復活事業は、その全量を下水の2次処理(十砂ろ過)水で賄われているところに大きな特徴がある。この種の下水処理水の利用は今後も進む可能性があり(佐藤, 1988)、衛生面、環境への影響など考慮しなければならない点が多々あると考えられる。

本研究は、玉川上水の再通水が周辺に及ぼす影響を、放流水の量および質の変化、地下水への影響、さらには住民の意識、周辺環境などに焦点をあてて調査を行なった。前報(田瀬ほか, 1988)で放流水の水量および水質について簡単に報告した。玉川上水は、一部を除き河岸・河床ともにコンクリートなどによる補強工事は施されておらず、素堀の水路である。このため地下への浸透は充分検討しておかな

ければならない課題である。今回は周辺地下水への影響の可能性を、地下水質を観測することにより検討した。

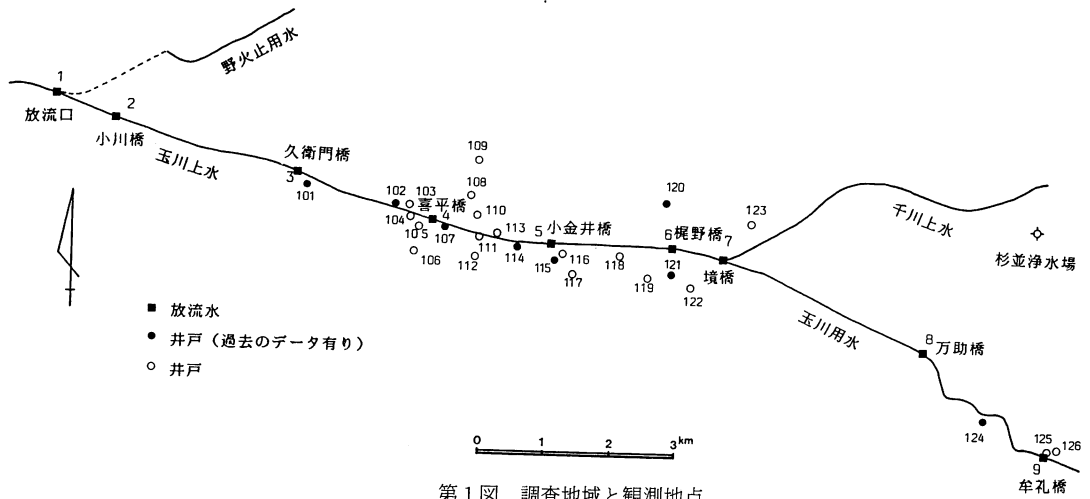
II 調査地域と観測の概要

調査地域は、第1図に示す清流復活区間の小平監視所(放流口)から牟礼橋までの約17kmとその周辺である。調査地域は、武蔵野面上に位置し、ここでの玉川上水はほぼ台地の分水界上を走る形となっている。玉川上水が走っている地域は、ローム層が厚く堆積しており、その厚さは8m以上である(細野, 1978)。地下水位もGL-10~17mと非常に深く、水路へ地下水が流入することは考えられない(消防研究所, 1968, 1970)。

放流水の水量と水質を観測するため9点の定点と地下水観測のため26点の定点を設けた(第1図)。地下水観測点のうち8点は1968年前後の水質分析結果(消防研究所, 1970)を有するものである。

観測項目は、水温、電気伝導度(EC)、pH、およびカリウム、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム、塩化物、硫酸、硝酸、重炭酸の各イオンと合成

*筑波大学地球科学系 **筑波大学・院・環境科学研究科(現:那須工業高等学校) ***筑波大学・院・環境科学研究科(現:動力炉・核燃料開発事業団) ****(助)消防科学総合センター



第1図 調査地域と観測地点

第1表 玉川上水の放流水（放流口）および周辺地下水の水質

項目	放流水	地下水	
		1987~1989	1967~1968
電気伝導度($\mu\text{S}/\text{cm}$, 18°C)	448~562	179~323	116~238
pH	5.2~7.1	5.8~7.2	5.8~6.2
塩化物イオン(mg/l)	49.5~115.0	9.8~32.1	12.6~27.3
硝酸イオン(mg/l)	23.7~81.0	4.1~54.0	
硫酸イオン(mg/l)	36.7~64.0	~23.5	1.2~7.8
重炭酸イオン(4.8Bx)(mg/l)	43.2~52.4	28.0~72.5	24.4~51.2
ナトリウムイオン(mg/l)	40.7~69.2	5.3~29.5	5.0~14.0
カリウムイオン(mg/l)	8.4~21.2	~10.6	0.6~2.5
カルシウムイオン(mg/l)	19.2~27.9	9.0~27.6	13.1~22.6
マグネシウムイオン(mg/l)	3.3~4.9	3.1~12.2	6.7~26.9
合成洗剤(EVAS)(mg/l)	0.27~0.38	0.07~0.23	

注) 項目, 年によりサンプル数は異なる

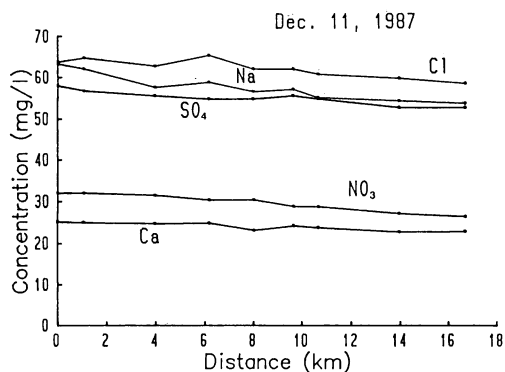
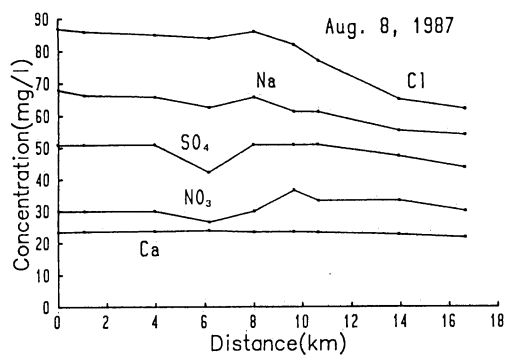
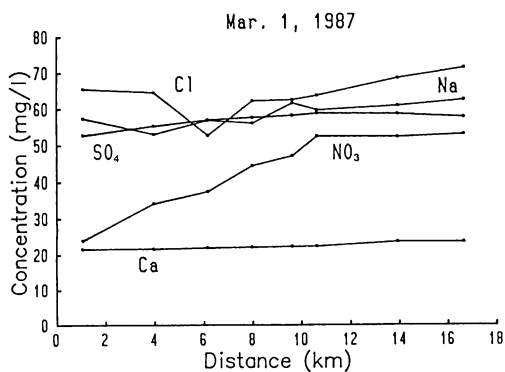
洗剤(EVAS)である。その他、放流水については流量、溶存酸素、大腸菌、地下水については水位を観測した。なお、分析は陽イオンについてはICPで、重炭酸を除く陰イオンについてはイオンクロマトグラフィで、重炭酸は硫酸滴定法による4.8アルカリ度として、合成洗剤はエチルヴァイオレット-キシレン抽出法で行なった。なお、測定日により観測項目に変動がある。

観測は1987年3月より1989年3月まで、放流水は9回、地下水は10回行なった。

III 放流水の水量と水質

1) 放流水の流量観測結果

前報で報告したように、観測日によって若干のばらつきはあるが、比較的安定しており、平均流量は放流口で235 l/s、最下流のSt.9で155 l/sとなり、平均勾配400分の1の流路17kmを流下する間に、その約34%が失われている。水面からの蒸発、水路を覆っている植物による吸収(蒸散)、そして地下への浸透が考えられるが、素堀の水路を流下する過程で地下



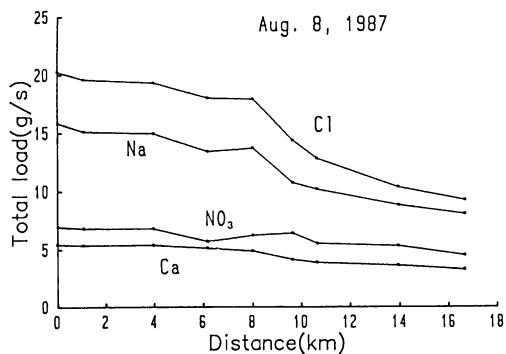
第2図 流下に伴う放流水の水質変化の一例
(1987年3月, 8月, 12月)

に浸透するものが大部分であると考えられる。

2) 放流水の水質

放流処理水の水質および流下に伴う変化については、前報で一部報告しているが、その後の観測結果も基本的に同様である。

第1表に放流水 (St. 1) の水質変動をまとめた。下水処理水の水質は、流入下水の水質の季節、曜日、



第3図 流下に伴う放流水中の溶存量変化の一例
(1987年8月)

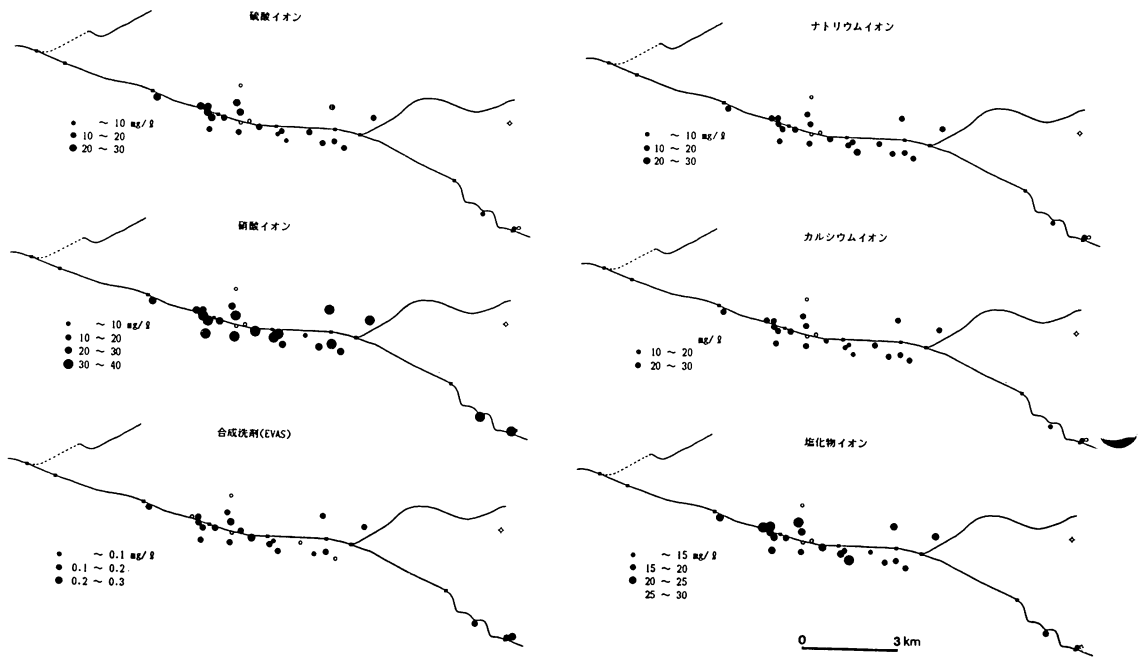
天候などによる変動と処理方法を反映して、大きく変動していることがわかる。

最も変動が大きいのは塩化物イオンの $49.5 \sim 115.0 \text{ mg/l}$ である。EC (18°C 換算) も $448 \sim 562 \mu\text{s/cm}$ と大きく変動する。硝酸イオンも $23.7 \sim 81.0 \text{ mg/l}$ と変動するが、硝酸イオンの場合流入下水の水質とともに、処理方法が関係している。

第2図に流水の流下に伴う水質の変化のいくつかを示した。全体にみると、流下に伴う水質の変化パターンにおいて、1987年3月1日の観測値がやや特異である。この原因として、再通水後の流路・河床の不安定性や当日流路の整備・清掃が行われていたことと、特に窒素については処理場での処理方法がその後改善されたことが考えられる。測定日による若干の変動はあるが、イオン類は全体として流下とともに減少するあるいはほとんど変化しない傾向を示していると言える。

硝酸イオンは、3月1日の測定では大幅に増加したが、その後は流下とともに若干の増加傾向を示した。3月1日の大幅な増加の原因は、アンモニア性窒素が流下する過程で硝酸性窒素に変化したためと考えられる。1987年3月の測定後、下水処理場での処理が硝化を促進させるような方法に改善されたため、その後の測定では硝酸イオンの大幅な増加はなくなった。1987年3月の場合、硝酸イオンの増加に伴ってナトリウムイオンが増加してイオンバランスをとっている。

第3図には、溶存総量 (濃度×流量) の流下にと



第4図 周辺地下水の水質分布（白丸は欠測点）

もなう変化を示したものである。塩化物イオンとナトリウムイオンは流下とともに減少しているが、硝酸イオンとカルシウムイオンは若干の減少はみられるがほとんど変化していない。前者の減少率は流量の減少率よりも大きいので、地下への浸透とともに若干の吸着も考えられる。後者については浸透による損失分を土壌や有機物からの溶出が補っている可能性が考えられる。

3) 浸透量の概算

放流水の30%程度が流下とともに減少し、そのほとんどが地下へ浸透している可能性がある。この損失量が地下水にどの程度影響を及ぼす可能性があるかをまず簡単に検討した。

放流量を1日2万 m^3 とすると、浸透量は1日6,000 m^3 となる。17kmの水路の両側200mづつ、400mの範囲に影響が及ぶと仮定すると、1mm/日弱の浸透量となる。この量は、細野(1978)が武蔵野市や三鷹市で求めた自然の涵養量0.2~0.5mm/日に比べて多い。

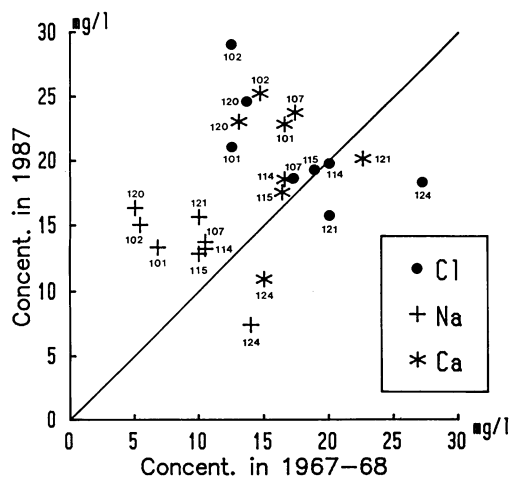
表層を覆うローム層の厚さは10m前後で、主要帯

水層となっている武蔵野礫層の地下水面までの深さは10~18m程である。上水の堀の深さを考えると、地下水面までは5~15m、平均10m程度である。ここでローム層の有効空隙率を0.2とすると、年間の降水量は1.5~2.0m程度となり、浸透した処理水が地下水へ到達するには5年程度の年月が必要である。もちろん、場所によっては地下水面までの深さが浅いので、影響がもっと早くできる可能性がある地域もある。また、直接の影響範囲の幅を狭く考えれば、もっと早く影響することになる。例えば、影響範囲を半分と考えれば、2~3年で、影響がでることになる。

なお、玉川上水が通過している地点は、地下水の尾根、涵養部に相当するところが多く、その影響が涵養域から両側の流出域へ向かって徐々に広がるのが考えられるので、もし影響がでるとなると長期的にはかなり広い範囲に及ぶ可能性はある。

IV 地下水への影響

放流水の水質は、下水処理水のためかなりの溶存物質を含んでいる。そして、流下とともにかなりの



第5図 地下水質の過去のデータとの比較
(番号は井戸番号)

水量が地下へ浸透していることが明かとなった。本章では、周辺地下水の水質を検査し、地下水への影響の可能性を検査してみる。

1) 地下水の水質

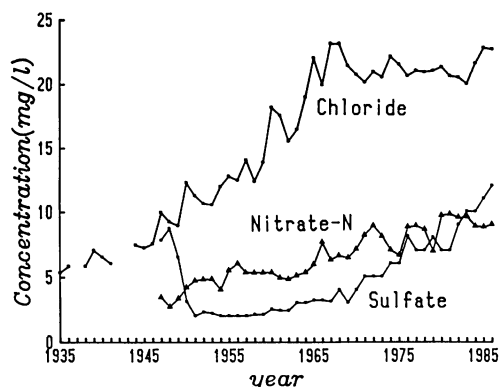
周辺の地下水の水質は26の井戸（第1図参照）において観測したが、途中で埋め戻したり、不在などで採水できなかったこともあった。

それぞれの井戸で、観測日により濃度に若干の変動が認められるが、明確な季節変動や傾向はみられず、ほぼ一定の値である。

それぞれの項目の最小値と最大値を第1表にまとめた。この表から、周辺地下水の水質は、玉川上水への放流水の水質に比べれば、はるかによいと考えてよいであろう。しかし、塩化物イオンと硝酸イオンについてはかなりの高濃度を示す井戸もあり、地下水質の悪化が進んでいることを示している。特に、硝酸イオンでは水道水基準の45mg/l（硝酸性窒素で10mg/l）を越えているものがある。また、合成洗剤も最高0.23mg/lを示し、生活系の排水が地下へ浸透していることを示している。

a) 地下水質の分布

第4図に測点数の多かった1987年8月のナトリウムイオン、カルシウムイオン、塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオン、そして1989年3月の合成洗剤（EVAS）の濃度分布を示した。



第6図 杉並浄水場における水質の経年変化

分布図をみると特に大きなパターンは認められないが、塩化物イオンと硫酸イオンについては上流部での濃度が高いようである。これらは下水道の不備に加え、農業系の起源が考えられるが、即断はできない。また、硝酸イオンと合成洗剤はほぼ全域で同じような値を示しており、生活排水系の汚染を示しているものと考えられる。

全体的に、本地域ではカルシウムやマグネシウムが相対的に多いのが特徴といえる。この点は消防研究所（1970）の過去のデータでも示されている。

b) 過去のデータとの比較

1967～68年の水質分析があるのは、No101, 102, 107, 114, 115, 120, 121, 124の8点で、ほぼ上流から下流まで分布している。これらの地点での値を第1表に今回の値と比較して示した。

1967～1968年の分析値では、硝酸イオンと一部の硫酸イオンについては行なわれていない。地点数、季節がかなり異なるので直接比較することはできないが、全体に、溶存成分は増加していることが指摘できる。ただし、下流部では現在の方が塩化物イオンなどかなり減少しているところもある。これは下水道の整備などのためと考えられる。

第5図にはこれらの地点での塩化物、ナトリウム、カルシウムの各イオンについて過去と現在の濃度を比較してある。上流部のNo101やNo102では、塩化物イオンやカルシウムイオンが大幅に増加している。中流部では、横ばいからやや増加の傾向を示してい

る。そして、下流部では横ばいからやや減少に転じているところもある。特に、No124では大きく減少しており、下水道の整備が1つの大きな要因になっているといえよう。

2) 地下水質への影響

1967～68年当時の水質に比べ、現在の水質は全般的に悪化していることが判明したが、これが上水の影響であると結論するのは、この間の分析値がないので無理である。周辺地下水よりも水質が悪い放流水が浸透して、地下水へ到達し、その水質に影響を及ぼすには前述したように時間がかかるものと考えられる。従って、現時点で過去の水質分析結果と比較して単純に直接の影響を評価することは危険である。そこで、当地域の地下水の長期的な変化を検討し、今後の評価のための基礎的なデータとした。

長期的な地下水質の変化傾向を示すデータはあまりないが、東京都の杉並浄水場は現在でも地下水を供給しており、戦前からの長期間の分析データを提供している。特に、硝酸性窒素のデータは貴重である。杉並浄水場は、玉川上水からやや離れているが、その涵養域は玉川上水域の一部にかかっている。浄水場の井戸は30m程の浅井戸である。1970年までのデータについてはYamamoto and Hida (1974) が土地利用との関係などから報告している。第6図に1935年からの塩化物イオン、硝酸性窒素、硫酸イオンの変動を示した。これらの項目は人為的影響を強く受けるものである。塩化物イオンは1960年代末をピークとして、22mg/ℓ前後でほぼ横ばい状態にある。硝酸性窒素は現在も上昇傾向にあるといえ、水道水基準の10mg/ℓに近い値となっている。硫酸イオンは戦後急激に低下し、1960年代後半から増加の傾向にある。塩化物イオンの上昇が止まったのは下水道が普及したのと同関係があると考えられる。硝酸性窒素（および硫酸イオン）は酸性雨（大気汚染）と同関係があるのかも知れないが明かでない。

これらの傾向が、時間的な位相のずれもあり、玉川上水周辺の井戸にすべて当てはまるわけではないが、三村(1969)、中村ほか(1972)、矢口ほか(1979)などの報告によっても全体的な傾向と判断してもよいであろう。上流域では下水道の普及率も高くなく、

農業活動も依然として行なわれていることもあり、地下水中の溶存成分は増加の傾向にあると考えるのが妥当であろう。

従って、玉川上水周辺の井戸の水質の悪化は、現時点では都市化（+農業）の影響と判断する方が妥当であり、玉川上水を流れる処理水の浸透による影響を判定するにはもう少し観測の継続が必要であると考えられる。

V おわりに

放流水の30%程度が浸透していることもあり、地下水への影響を否定することはできないので、今後もモニタリングを継続して行く必要がある。

流域下水道については問題点も指摘されているが、処理した水を単に河川へ戻すだけでなく、流水を蘇生、復活させることにはそれなりの意義があると考えられる。本研究がその一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究は、とうきゅう環境浄化財団の助成により行なった研究の成果の一部である。東京都環境保全局および水道局からは資料を提供していただいた。観測機器については筑波大学水理センターにお世話になった。また、現地調査と水質分析においては筑波大学環境科学研究科及び地球科学研究科の院生の方々にお手伝いいただいた。記して感謝いたします。

文 献

- 秋山 聡(1988)：玉川上水における再通水の環境科学的評価。昭和62年度筑波大学環境科学研究科修士論文(未発表)，85p。
- 川原 浩・岡田光正・福嶋 悟・武藤敦彦(1987)：小水路維持用水としての下水処理水の利用—野火止用水水質の評価—。水質汚濁研究，10，624—630。
- 佐藤和明(1988)：都市修景用水としての下水処理水の利用と今後の動向。公害と対策，24，1012—1018。
- 消防研究所(1968)：武蔵野台地における地表水および地下水の測水資料。消防研究所技術資料，1，261p。
- 消防研究所(1970)：武蔵野台地における帯水層の性状に関する調査資料。消防研究所技術資料，3，240p。
- 田瀬則雄・秋山 聡・細野義純(1988)：玉川上水におけ

- る再通水の環境科学的評価. 筑波大学水理実験センター報告, **12**, 65-69.
- 中村 弘・樋口育子・会田朋子 (1972): 都区内および三多摩地区における井戸水の水質. 水道協会雑誌, **456**, 4-13.
- 細野義純 (1978): 武蔵野台地の不圧地下水. 市川正巳・榎根 勇編著: 『日本の水収支』古今書院, 174-188.
- 三村秀一 (1969): 東京都下北多摩地区の地下水の調査. 水道協会雑誌, **415**, 2-6.
- 矢口久美子・大橋則雄・藤沢正吉・友成正臣 (1979): 多摩地区浅層地下水の動向(第4報)小平市における定点調査. 東京衛研年報, **30-1**, 238-242.
- Yamamoto, S. and Hida, N. (1974): A preliminary study on groundwater pollution in the western suburb of Tokyo Metropolis. Science Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C, **12**, 63-73.