

玉川上水の通水による地下水位への影響に関する研究

Effects of passing water to the Tamagawa aqueduct on the groundwater level

都市人間環境学専攻 新澤 まゆ子
Mayuko SHINZAWA

Key Words : ground water, spring, Tamagawa aqueduct, water passing

1. はじめに

玉川上水は、急激に人口が増加した江戸に飲み水を供給することを目的として1653年に作られた人工水路である。利用最盛期には玉川上水本川から33本の分水が引かれ、江戸中に張り巡らされた玉川上水本川・分水網は経済・工業・農業・交通の面で多岐に亘って江戸を支えた。近年、玉川上水・分水網の利活用に向けて、学識者によるシンポジウムや多数の市民団体による積極的な活動が行われている。2003年及び2006年には、江戸の貴重な土木遺産として国の史跡¹⁾及び日本ユネスコ協会連盟によってプロジェクト未来遺産に指定された。²⁾

しかし玉川上水では、都市の発展とともに1965年頃から中下流部において暗渠化が進み、下流部では通水が停止された。さらに、33本あった分水は8本に減少した。その後、玉川上水の再通水を願う玉川上水沿川の住民からの強い要望により、東京都は1974年から「清流復活事業」として、玉川上水・野火止用水・千川上水に高度下水処理水を放流している。しかし玉川上水に放流された高度下水処理水は、浅間橋地点で神田川に放流されるため、それより下流では水が流れていない。現在の玉川上水の流況を図-1に示す。そして現在、玉川上水において、水の流れていない区間や暗渠化した区間の増加したことで、様々な問題が生じている。例えば、玉川上水の余水吐きであった江戸城外濠では、玉川上水からの水の供給が止まったことが原因の一つとなり、夏場にアオコが大量発生し、水質・景観悪化が生じている。そのような状況を受け、2019年に、都政の基本方針として「玉川上水」を活用した皇居の外濠浄化事業が盛り込まれた³⁾。この事業によって玉川上水が復活することで、東京都の貴重な水辺空間の復活や江戸城外濠及びその下流の都市河川の水質浄化、災害時の緊急水循環システムの構築等の効果が見込まれる。さらに、玉川上水が位置する武蔵野台地には、透水性の高いローム層が分布しており⁴⁾、多数の湧水地点



図-1 玉川上水の流況

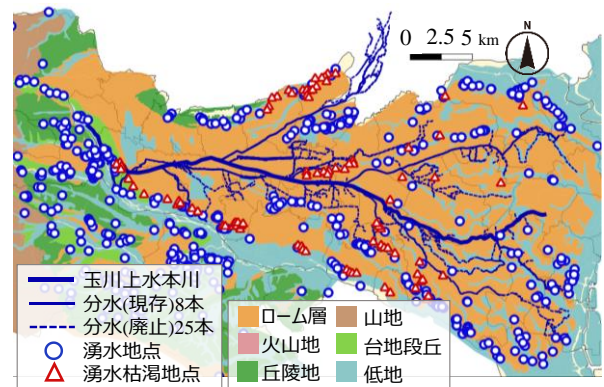


図-2 玉川上水の周辺の湧水地点・湧水枯渇地点

及び湧水枯渇地点が確認されているため⁵⁾、通水による湧水量の増加や枯渇した湧水の復活が期待されている。⁷⁾ 玉川上水周辺の湧水地点及び枯渇した湧水地点を図-2に示す。上記の背景を踏まえ本研究では、玉川上水上流端の羽村取水堰から下流端の江戸城外濠まで通水を行う場合、江戸城外濠のアオコ改善対策に必要な流量を確保するために必要な羽村取水堰での取水量を求め、かつ、その通水による周辺の地下水位・湧水量への影響を検討することを目的として、地下水流動シミュレーションを行い、玉川上水の通水による影響について検討を行った。

2. 解析概要及び条件

(1) 解析領域の概要

本研究では、多摩川・浅川・荒川に囲まれた約1,000km²の範囲を解析領域として、表層から地下地質構造までを

一体に反映した台地モデルを作成した。標高については、国土地理院基盤地図情報5mメッシュ⁸⁾、表層のマニングの粗度係数については、国土数値情報の土地利用細分メッシュデータ⁹⁾を反映した。そして、地質構造に関しては、東京都建設局が公開している地質断面図¹⁰⁾及び産業技術総合研究所の20万分の1日本シームレス地質図¹¹⁾、解析領域の地盤分野論文¹²⁾¹³⁾⁴⁾⁵⁾を基に作成した。解析領域の地質構造及び表層の地質構造、土地利用状況を図-3及び図-4、図-5に示す。さらに、玉川上水本川及び現在も使われている8本の分水においては、幅が5m以下の区間が多く存在するため、玉川上水の水路構造が詳細に記されている資料¹⁶⁾を参考にして、地形モデルに玉川上水・分水網の水路を反映させた。なお、計算を簡略化するために、玉川上水・分水網の水路はすべて開渠とした。

(2) 解析手法の概要

本解析には、表流水と地下水の流れを一体的に計算可能な統合型地圏水循環シミュレータGEIFLOWSを用いて行った。河川流等の地表水についての基礎式は、下式(1)(2)に示す連続式及び運動方程式であり、地下水についての基礎式は、下式(3)(4)に示す連続式及び一般化したダルシー則である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = g \frac{\partial h}{\partial x} + g(i_0 - i_f) - \frac{qu}{h} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \left(\frac{Kk_{rca}}{\mu_{ca}B_{ca}} \nabla (P_{ca} - \rho_{ca}gZ) \right) - q_{ca} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi(1-S_{cw})}{B_{ca}} \right) \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \left(\frac{Kk_{rcw}}{\mu_{cw}B_{cw}} \nabla (P_{cw} - \rho_{cw}gZ) \right) - q_{cw} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_{cw}}{B_{cw}} \right) \quad (4)$$

ここで、 A は流路断面[m²]、 Q は平均流量[m³/s]、 u は平均流速[m/s]、 t は時間[s]、 x は流れ方向の空間座標[m]、 h は水深[m]、 g は重力加速度[m²/s]、 i_0 は斜面勾配、 i_f は摩擦損失、 q は流出入項[m/s]、 K は浸透率[m²]、 kpl は相対浸透率[m²]、 μ_p はp相の粘性係数[kg²/m³・s]、 S_{pl} はp相の飽和率、 P_{pl} はp相の圧力[kg/m³・s]、 ρ_{pl} はp相の密度[kg/m³]、 Z は深度[m]、 ϕ は間隙率、 B_{pl} はp相の容積係数である。

(3) 解析条件

本解析では、玉川上水の通水による地下水位・湧水量への影響を求めるために、①全域に東京(大手町)の年平均有効雨量¹⁷⁾及び多摩川・荒川の上流端にそれぞれの夏季平均流量¹⁸⁾を与えた場合と、②上記の条件に加え玉川上水上

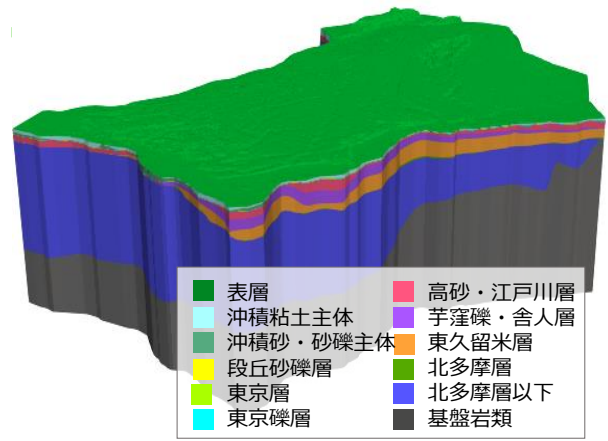


図-3 解析領域の地下地質構造

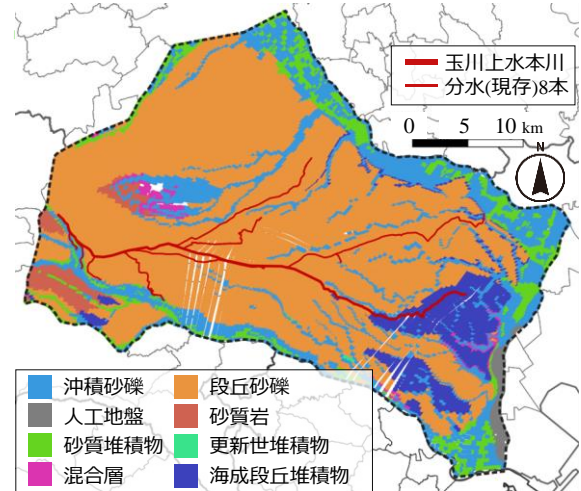


図-4 解析領域の表層地質

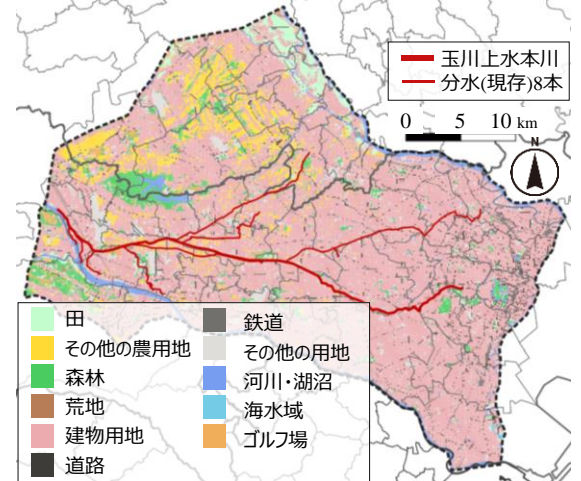


図-5 解析領域の土地利用

流端の羽村取水堰に流量10, 20¹⁹⁾, 50, 10 m³/sを与えた場合の2つの計算を行った。①と②の解析によって算出された地下水位及び湧水量を比較することで、玉川上水の通水による地下水位及び湧水量の変化を見た。

3. 解析結果

玉川上水上流端の羽村取水堰から下流端の江戸城外濠までの玉川上水本川の流量を図-6に示す。羽村取水堰から流量10, 20, 50, 10 m³/sを流した場合、江戸城外濠には、

約03, 08, 23, 52 m³/sの流量が届くことが分かった。さらに、羽村取水堰から流す流量が多いほど、羽村取水堰の流量に対して下流端の江戸城外濠に届く流量の割合が大きくなることが明らかになった。また、江戸城外濠のアオコ改善に必要な流量約05 m³/sを、江戸城外濠に流すためには、羽村取水堰から約20 m³/sを流す必要があることが分かった。次に、玉川上水上流端である羽村取水堰から、江戸城外濠のアオコ改善のために必要な流量20 m³/sを流した場合の地下水位の上昇量を図-7に示す。図-7に示す結果より、特に、小平分水の流水が放流される落合川や、千川上水の中流部を中心とした広域的で地下水位の上昇が見られた。この結果より、玉川上水の通水によって、分水に水が行き渡ること、分水周辺の地下水が涵養され、地下水位が上昇すると考えられる。最後に、江戸城外濠のアオコ改善のために必要な流量20 m³/sを流した場合の湧水量の増加量を図-8に示す。図-8より、特に、小平分水の放流先である黒目川の下流部や玉川上水の下流部に近い目黒川の中流部、玉川上水の下流端である江戸城外濠の周辺において、湧水量の増加が見られる。最も湧水量が増加する地点は、江戸城外濠であり、295 mm/dayである。これらの湧水量が増加する地点の周辺では、実際に湧水が確認されている場所が多くある。例えば、黒目川下流部では、朝霞市の市指定天然記念物である「代官水」があり、目黒川の中流部では、東京都の名湧水57選に選定されている「目黒不動尊」等がある。湧水は、人々に潤いと安らぎを与える都会のオアシスとしての価値だけでなく、都内の中小河川の貴重な水源、地域の環境教育・環境学習の教材、地域づくりの資源としての価値もある貴重な自然である。そのため、玉川上水の通水によって湧水量が増加した場合、都心の貴重な自然である湧水地点の保全につながると考えられる。

4. 考察・まとめ

本研究では、玉川上水の通水による地下水位・湧水量の上昇量・増加量を算出するために地下水流動シミュレーションを行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 羽村取水堰から流量20 m³/sを流した場合、江戸城外濠には約08 m³/s届くことが分かった。そのため、江戸城外濠の水質浄化に必要な流量約05 m³/sを、江戸城外濠に流すためには、羽村取水堰から約20 m³/sを流す必要があることが分かった。

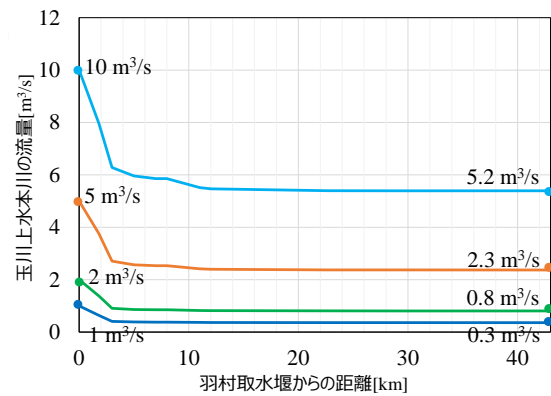


図-6 羽村取水堰の流量と江戸城外濠の流量のグラフ

江戸城外濠の水質浄化に必要な流量約0.5 m³/sを、江戸城外濠に流すためには、羽村取水堰から約2.0 m³/sを流す必要があることが分かった。

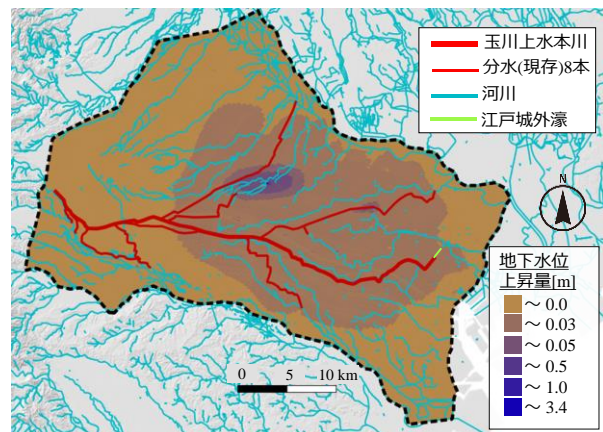


図-7 羽村取水堰から流量20 m³/sを流した場合の地下水位の上昇量

小平分水の放流先や千川上水の中流部を中心に、広範囲で地下水位の上昇が確認できた。

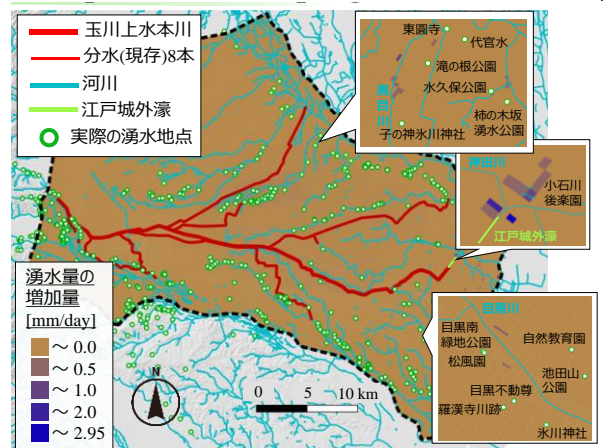


図-8 羽村取水堰から流量20 m³/sを流した場合の湧水量の増加量

特に、小平分水の放流先である黒目川の下流部や玉川上水の下流部に近い目黒川、玉川上水の下流端である江戸城外濠の周辺において、湧水量の増加が見られた。

- 2) 江戸城外濠のアオコ改善のために必要な流量20 m³/sを流した場合、小平分水の放流先や千川上水の中流部を中心に、広範囲で地下水位が上昇することが分かった。

- 3) 江戸城外濠のアオコ改善のために必要な流量 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ を流した場合、特に、小平分水の放流先である黒目川の下流部や玉川上水の下流部に近い目黒川、玉川上水の下流端である江戸城外濠の周辺において、湧水量が増加することが分かった。

また、玉川上水の通水によって都市部の地下水位が上昇することで、その地下水を緊急水利として利用できる可能性がある。例として、内閣府が公表している「都心南部直下地震時の250 mメッシュ別焼失棟数」²⁰⁾に玉川上水本川・分水網を重ねた図を図-9に示す。本計算より、玉川上水の通水によって、広範囲で地下水位が上昇することが明らかになったが、それらの地域は、地震時の火災による焼失棟数が多い地域でもある。そのため、玉川上水に河川水が通水された場合、深井戸等を設置することで、通水によって増加した地下水を、緊急水利として活用することができると考える。また、玉川上水本川・分水網は広域に広がっており、かつ、自然流下で水が行き渡りようになっており、電力等のエネルギーが不要な構造となっているため、玉川上水の流水を災害時の消防用水として利用することが可能である。

謝辞

本研究の水理計算において、株式会社地圏環境テクノロジーが開発したGETFLOWSを用いている。ここに深甚たる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 東京都水道局「国の史跡指定について」：
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kouhou/prtama-gawa/tama02.html>.
- 2) 日本ユネスコ協会連盟ホームページ：
<http://unesco.or.jp/mirai/result/pj008/>.
- 3) 読売新聞：「水の都へ玉川上水復活」2019年12月26日。
- 4) 国土交通省：50万分の1土地分類基本調査。
- 5) 東京都：東京の湧水マップ。
- 6) 新井正, 藤原寿和, 舟田昭子, 雨宮優, 植田芳明, 岡田浩美, 長沼信夫：東京の台地部における湧水の現状, 地理学評論, vol.60, pp.481-484, 1987。
- 7) 東京都生涯学習情報ホームページ：
<https://www.syougai.metro.tokyo.lg.jp/image/tbunka9704.pdf>.
- 8) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル5mメッシュ。

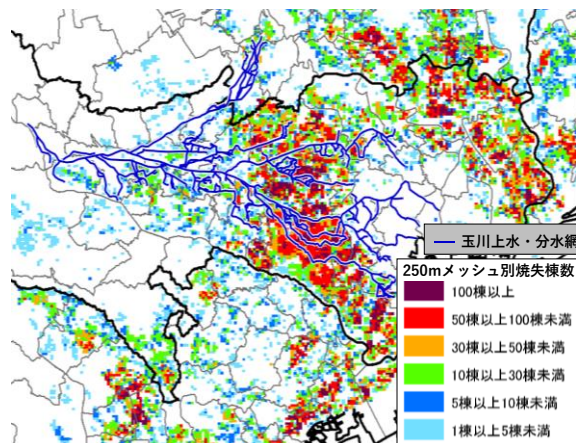


図-9 都心南部直下地震における都内の被害想定
(冬・タ・風速 3m/s の場合)

- 9) 国土交通省国土地理院：国土数値情報土地利用細分メッシュデータ。
- 10) 東京都建設局：東京都土木技術支援・人材育成センター「地質断面図」。
- 11) 国立研究開発法人産業技術総合研究所：20万分の1日本シームレス地質図。
- 12) 遠藤毅：東京都付近の地下に分布する第四系の層序と地質構造, 地質学雑誌第84巻第9号, pp.505-520, 1978。
- 13) 鈴木宏芳：関東平野の地下地質構造, 防災科学技術研究所報告第63号, 2002。
- 14) 遠藤毅, 中村正明：東京都区部の深部地盤構造とシルト層の土質特性, 土木学会論文集, No.652, pp.185-194, 2000。
- 15) 遠藤毅, 川島眞一, 川合将文：北多摩地区の地下地質, 応用地質36巻第4号, pp.17-26, 1995。
- 16) 渡部一二：図解 武蔵野の水路-玉川上水とその分水路の造形を明かす。
- 17) 国土交通省気象庁：東京都東京の気象データ(1981-2018)。
- 18) 国土交通省：水文水質データベース 日野橋・太郎右衛門橋・菅間観測所流量年表(7~10月, 2000-2017)。
- 19) 柿沼太貴：閉鎖性水域における藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した押し出し効果によるアオコ浄化手法に関する研究, 中央大学大学院博士論文, 2019。
- 20) 山田真衣：玉川上水における流下能力に関する水理学的研究, 中央大学大学院修士論文, 2018。
- 21) 内閣府：中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ「首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告)」, 平成25年12月。