

地下水揚水規制が武蔵野台地の水循環に及ぼす影響について

首都大学東京	都市環境学部	学生員	○竹田	理人
東京都建設局	兼 首都大学東京	正会員	石原	成幸
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村	明
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口	英雄
東京都	水道局	非会員	大崎	友輔

1. 序論

地下水障害の中に、河川の重要な資源である湧水の枯渇や湧水量減少、また地盤沈下といった問題が存在する。この原因の一つとして、地下水の過剰な揚水に伴う地下水位低下が指摘されている¹⁾。

武蔵野台地に存在する井の頭池や三宝寺池などの池は、中小河川の流量を支える重要な水源であったが、地下水の過剰な揚水に伴い、高度経済成長期に湧水の枯渇や湧水量減少が目立つようになった²⁾。また当時、低地部で激甚な被害を及ぼしていた地盤沈下が台地部にも拡大した。これを機に 1972 年の法令及び都独自の条例に基づく規制強化が行われ、台地部でも地下水揚水規制(以下「揚水規制」と記す)が開始された³⁾。揚水規制が行われてきた結果、地盤沈下が沈静化するとともに地下水位が回復し、現在では揚水規制を緩和して地下水を積極的に有効利用することを望む声もある。しかし、地下水位の回復は頭打ちの状況にあり、武蔵野台地を流れる神田川では自流量が少ないままであり、野川や仙川において水涸れが生じている^{3)~5)}。また、既往研究では武蔵野台地の再現性について検証を行っているが、1972 年の揚水規制開始当時の地下水位解析はこれまで行われていない⁶⁾。

そこで、本研究では都内全域(島しょ、山間部除く)で揚水規制が施行された 1972 年に着目し、1972 年の揚水量データを用いて定常解析を実行した。その解析結果と現況再現ケースを比較することにより、揚水規制が地下水位へ与えた影響とその原因を検討するとともに、揚水規制が河川の水涸れ緩和に及ぼす効果についても考察を試みた。

2. 解析手法および概要について

(1) 解析手法と解析領域の概要

解析には、統合型地圏水循環シミュレータである GETFLOWS を採用した。これは陸域での表流水と地下水を一体的に解析することができ、任意形状の 6 面体格子を用いて地表地形及び地下地層分布形状を実態に沿って適切にモデル化することで、河川水と地下水の多様な水理諸量(地下水位・湧出高・流跡線・表流水深など)を算出・可視化が可能なためである。

図-1 に、表土を除いた三次元水理地質構造モデルを示す。本研究では、入間川・荒川・多摩川に囲まれた 2,000km² の範囲を解析領域とし、表層情報から地下地質構造までを一体に反映した武蔵野台地モデルを作成し、地下水位の解析を行った。表層の情報について、標高は国土地理院基盤図情報および東京都の各河川整備計画から作成し、表層におけるマンギングの粗度係数は国土数値情報の土地利用から反映した^{7),8)}。そして地下地質構造は東京都の地盤ボーリングデータと解析領域の地盤分野論文等を基に設定し、地下水位や河川流量との整合性を確保したうえで間隙率と透水係数を決定した^{9)~12)}。浅層は主に沖積砂礫層・ローム層など比較的透水性の高い地質が分布し、深層は舎人層・北多摩層など比較的透水性の低い地質が広域に分布している。

モデル化した武蔵野台地を流れる河川では湧出水の減少が報告されており、特に台地南部に存在する野川・仙川の一部では平時に表流水が無い水涸れ状態が続いている⁵⁾。そこで、これら河川の湧出高や河川域の表流水深を可視化することで、揚水規制が河川へ与える影響について考察を試みた。

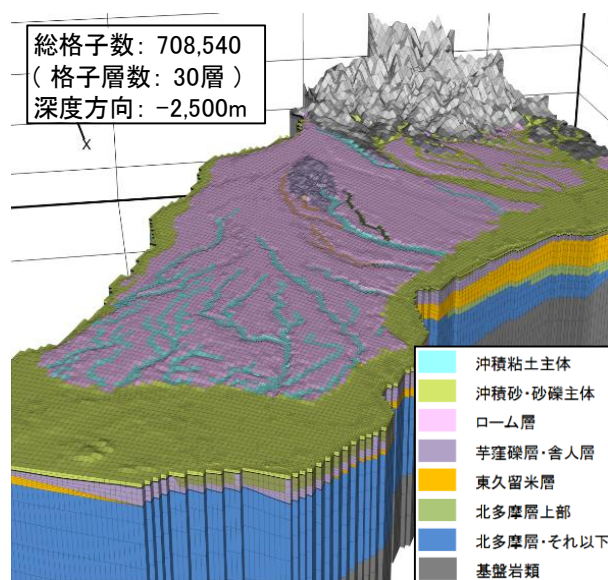


図-1 武蔵野台地モデル(表土除く)

キーワード 武蔵野台地, 揚水規制, GETFLOWS, 地下水位, 水涸れ

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : takeda-rihito@ed.tmu.ac.jp

(2) 入力に用いたデータ

①地下水揚水量

表-1 に、各ケースの揚水量を抜粋して示す。本研究で用いた 1972 年ケースの揚水量は、東京都環境局、南関東地方地盤沈下調査会による 1972 年の自治体別揚水量を各自治体面積で割った値を使用した^{2),13)}。ただし、埼玉県西部の一部及び比企地域の自治体における揚水量は、埼玉県環境部による自治体別揚水量から最小二乗法を用いて算出した¹⁴⁾。

現況再現ケースの揚水量は、東京都環境局と埼玉県環境部による 2012・2013 年の自治体別揚水量を各自治体面積で割った値を使用した^{13),15)}。また、地下水の大部分は東京層群および上総層群の砂層・砂礫層中にある被圧帯水層から取水しているため、揚水は深度 100m 以深に分布する東京層・東京礫層・高砂層・江戸川層・東久留米層の最上層から自治体毎に一律に取水すると想定してモデル化した^{16),17)}。

②有効降水量

図-2 に、有効降水量分布を示す。降水量・気温データは、1981 年～2010 年の 30 箇年平年値より 1km メッシュの空間分布データを使用した¹⁸⁾。これらのデータを用いてメッシュごとにハーモン式に基づく可能蒸発散量を算出し、降水量から可能蒸発散量を差し引いた有効降水量を定常の降水入力値に採用した。

③雨水排水・下水処理場

雨水下水幹線により収集される降水は、地中へ浸透しない損失雨量となる。本解析では、東京都及び埼玉県の各下水処理区域における降水量の 20%が損失雨量となったと仮定し、各メッシュの降水量から差し引いたうえで同じ水量を各下水処理場から放流した^{19),20)}。

3. 1972 年ケースと現況再現ケースにおける地下水位解析値比較

1972 年の揚水規制に伴い、大きく揚水量が減少した現在の現況再現については、詳しく検証されており、高い精度での再現性が確認されている⁹⁾。次に 2 つのケースにおける解析結果の比較を行う。

図-3 に、現況再現ケースの地下水位が 1972 年ケースよりどの程度上昇したかを示す。同図より、地下水位が上昇する地域は偏在しており、多摩地域と区部台地部に集中していることが読み取れ、地下水位が上昇している自治体の多くで 3m 以上の上昇が確認できる。また、埼玉県の一部でも地下水位上昇が見て取れる。以後、揚水規制効果の検討及び地下水位上昇の原因と河川への影響について考察を試みた。

4. 揚水規制の効果検討

(1) 地下水位上昇の原因考察

図-4 に、1972 年ケースと比較した現況再現ケースにおける各自治体別揚水量の減少量を示す。図-3 と図-4 を比較すると、図-3 において地下水位上昇が大きかった多摩地域及び区部台地部では、揚水量の減少が他の地域に比べて大きいことが分かる。このことは、1972 年以降に多摩地域・区部台地部で行われてきた揚水規制の効果が現れたものと考えられる。更に、他の自治体に比べて大きく

表-1 入力揚水量(抜粋)

(mm/day)		1972 年ケース	現況再現ケース
東京都	千代田区	0.536	0.141
	練馬区	0.712	0.198
	府中市	3.053	1.719
	立川市	2.089	0.59
	武蔵野市	3.902	3.875
	昭島市	2.809	2.3
	西東京市	3.235	0.535
埼玉県	和光市	2.647	0.945
	所沢市	0.704	0.22
	川越市	0.81	0.403
	ふじみ野市	2.721	1.386

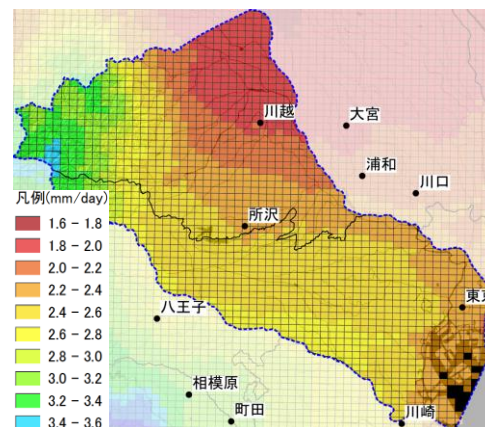


図-2 30 箇年の日あたり有効降水

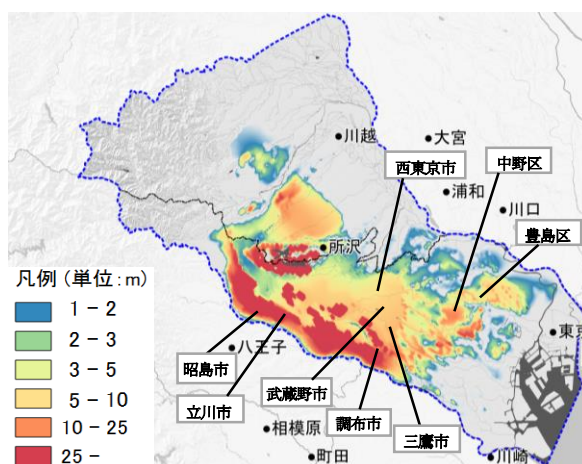


図-3 1972 年ケースと比較した現況再現ケースにおける地下水位上昇量

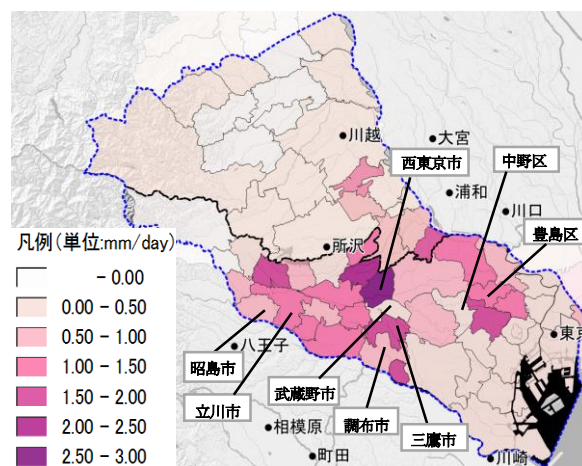


図-4 1972 年ケースと比較した現況再現ケースにおける各自治体別揚水量の減少量

揚水量が減少した豊島区、三鷹市、西東京市や立川市などの自治体に加えて、近隣の中野区、武蔵野市や昭島市などの揚水量の減少が小さい自治体でも地下水位上昇が確認できる。

このことは、揚水規制による揚水量減少が近隣の自治体エリアにまで影響を及ぼすなど、極めて高い効果が発現していると判断できる。以下に、各ケースにおける上記の地域に着目した流跡線を作成することで、揚水規制が地下水流動や地下水位へ与えた影響について検討を行う。

図-5 a)・b)に、各ケースの流跡線を示す。流跡線とは表流水と地下水の動きを一体的に可視化したもので、本研究では実際の揚水が多い深度 150m 地点を出発点として、流動経路を赤い実線で表した。破線内部に着目すると、図-5 a) の 1972 年ケースの流跡線からは、図-4 において揚水量減少の大きい自治体が周辺の自治体から地下水を引き寄せて揚水していることが読み取れる。図-5 b) の現況再現ケースの流跡線は、全体として歪むことなく伏流してほぼ地形的に低い東方向へ伸びているが、一部調布あたりでは引き寄せられていることが判る。

両図の流跡線を比較すると、過剰揚水していた自治体の揚水量減少に伴い周辺自治体からの揚水引き寄せが減少し、その周辺自治体の地下水を含めて帯水層基面形状に沿って流下するようになったことが読み取れる。これにより、揚水規制に伴って大きく揚水量が減少した自治体のみならず、周辺自治体の地下水位も上昇する結果になったと考えられる。

以上より、多摩地域と区部台地部における揚水規制が当該自治体に止まらず、周辺自治体の地下水位上昇に極めて高い効果を生じさせていることが確認できた。

(2) 河川の水涸れ緩和に及ぼす効果考察

各ケースの 23 区西部と北多摩地域における地表面への湧出高分布と表流水深分布をそれぞれ図-6 a)・b) 及び図-7 a)・b) に示す。

図-6 の両図の比較より、破線内の野川・仙川など水涸れが発生しやすい多摩地域の河川や、石神井川・神田川などの自流量が少ない区部の河川において、揚水規制の効果による湧出高の増加や出現が確認できる。これらの河川は図-3 に



図-6 a) 1972 年ケースの湧出高

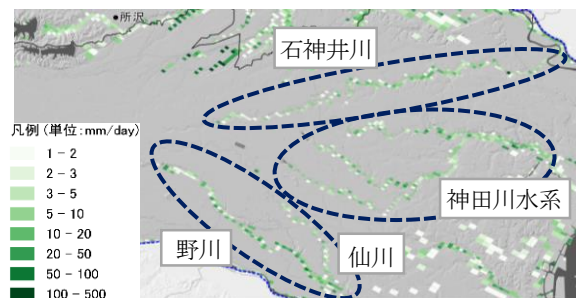


図-6 b) 現況再現ケースの湧出高

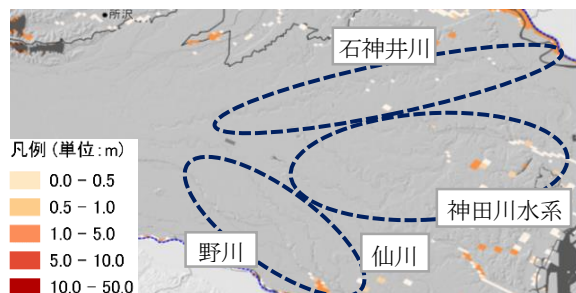


図-7 a) 1972 年ケースの表流水深

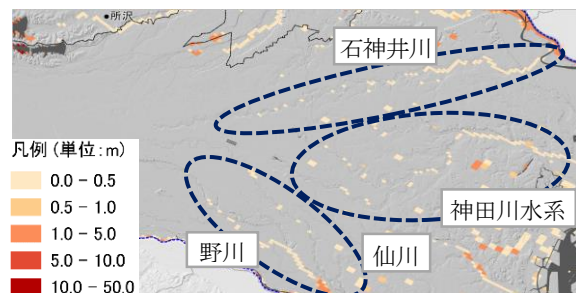


図-7 b) 現況再現ケースの表流水深

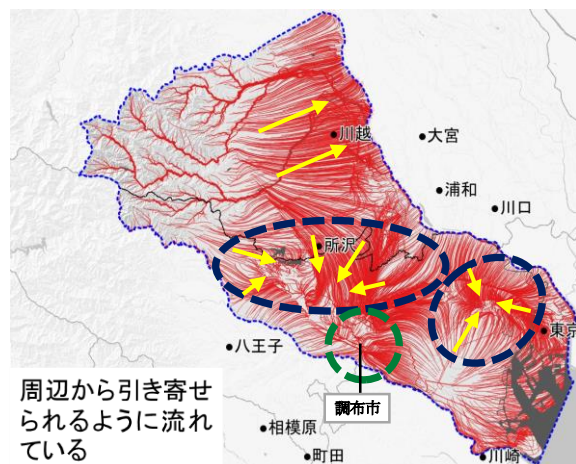


図-5 a) 1972 年ケースの流跡線

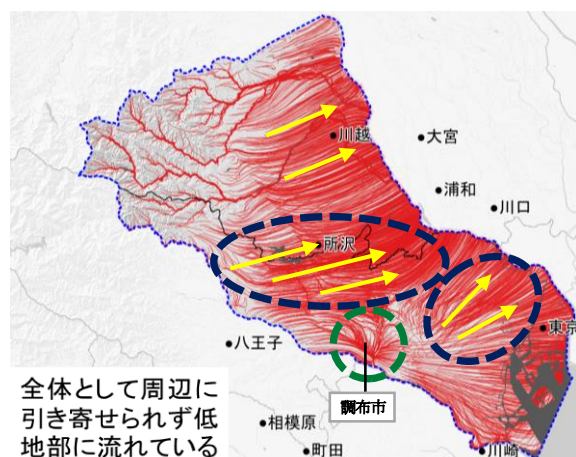


図-5 b) 現況再現ケースの流跡線

て地下水位が上昇した地域に位置し、地下水位の上昇に伴って河川への湧出水が増加したものと考えられる。図-7の両図の比較より、図-6と同じ河川で表流水の増加や出現が確認できる。これは図-3、図-6より、地下水位が上昇して湧出水が増加した結果、表流水が増加したためと考えられる。以上の結果より、揚水規制は河川の水涸れ緩和や流量減少に極めて効果の大きいことが判る。

5. 結論

本研究では武蔵野台地において、都内全域(島しょ・山間部を除く)で揚水規制強化が図られた1972年の揚水量データを用いたケースと現況再現ケースを比較することにより、揚水規制が地下水位へ与える影響を検討し、地下水位上昇の原因と揚水規制が河川の水涸れ緩和に及ぼす効果について考察を行った。解析の結果、地下水位が1972年から揚水規制が始まった多摩地域・区部台地部を中心に現在までに3m以上上昇したことが明らかになった。このことは、揚水規制により、揚水量減少が大きい地域を中心に、その周辺の地下水が帯水層基面形状に沿って流下するようになった結果、広域にわたる地下水位上昇に繋がったことが一因として考えられる。そしてこの広域の地下水位上昇に伴い、多摩地域・区部の一部河川で湧出水や表流水の増加または出現が確認できた。

以上のことから、多摩地域と区部台地部における揚水規制が当該自治体にとどまらず、周辺自治体の地下水位上昇に大きく寄与していること、また湧水量の減少や湧水の消失、枯渇といった問題がある中、河川の水涸れ緩和や流量減少に対して大きな効果を及ぼしていることが明らかになった。この現状で揚水規制を緩和することは、更なる河川の水涸れや流量減少、加えて地盤沈下の再燃も懸念される。このため、引き続き綿密な地下水管理が必要であると考えられる。

今回の研究では、都内全域(島しょ、山間部除く)で揚水規制が施行された1972年に着目したが、区部低地部ではそれ以前に揚水規制が行われている。今後は、解析モデルや条件設定の改良を図り、より実態に即した検証を行うことで、広域における水資源の利用や管理・保全に繋がると考える。

謝辞

本研究では、株式会社地圏環境テクノロジーが開発した統合型地圏水循環シミュレータであるGETFLOWSを用いて、実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 東京都環境局：これからの地下水保全と適正利用に関する検討について、平成27年度地下水対策検討委員会のまとめ、2016。
- 2) 南関東地方地盤沈下調査会：南関東地域地盤沈下調査対策誌、1974。
- 3) 中嶋博，金子紘士，土田稔：東京における地盤沈下対策と地下水保全対策，地下水学会誌，Vol.52，No.1，pp35-47，2010。
- 4) 東京都：荒川水系神田川流域河川整備計画，2016。
- 5) 東京都：多摩川水系野川流域河川整備計画，2017。
- 6) 大崎友輔，石原成幸，河村明，天口英雄，才田進，多田和広，田原康博：GETFLOWSを用いた武蔵野台地の水循環に与える地下水揚水の影響評価，第44回土木学会関東支部研究発表，CD-ROM版(II-59)，2017。
- 7) 国土交通省：国土地理院基盤図情報 <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 8) 東京都建設局：東京都河川整備計画について <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/river/jigyo/kasenseibikeikaku/index.html>
- 9) 東京都 土木技術支援・人材育成センター：東京の地盤(GIS版) <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/geo-web/00-index.html>
- 10) 遠藤毅，中村正明：東京都区部の深度地盤構造とシルト層土質特性，土木学会論文集，No.652/III-51，pp.I-185-I-194，2000。
- 11) 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4号，pp.17-26，1995。
- 12) 鈴木宏芳：関東平野の地下地質構造，防災科学技術研究所研究報告 第63回，pp.1-19，2002。
- 13) 東京都環境局：平成25年 都内の地下水揚水の実態（地下水揚水量調査報告書），2015。
- 14) 埼玉県環境部：埼玉県地盤沈下調査報告書(昭和54・58年度観測成果)，1980,1984。
- 15) 埼玉県環境部：埼玉県地盤沈下調査報告書(平成24・25年度観測成果)，2014,2015。
- 16) 環境省：全国地盤情報ディレクトリ 関東平野南部(東京都) <http://www.env.go.jp/water/jiban/directory/kantou.html>
- 17) 国土交通省：全国地下水資料台帳 <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/water/basis/underground/F9/exp.html>
- 18) 気象庁：メッシュ平年値図2010 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/view/atlas.html>
- 19) 東京都下水道局：「区部下水道全体計画図」「流域下水道全体計画図」，東京都下水道局事業概要 平成27年版，2016。
- 20) 埼玉県下水道局，埼玉県都市整備部：埼玉の下水道 平成27年度版，pp.11-20，2015。