

➤ 各調査研究の実施状況等

	調査研究	実施状況等（R 7 年 3 月時点）
専門性の高い調査研究	1 地下水流動系の解明 《筑波大学との共同研究》 ➤ 東京の地下水における 涵養－流動－流出 のプロセスの解明	○ 地下水の広域流動の概況把握 ・ R 6 年度は、R 5 年度までの調査を踏まえ、 区部北部の台地部から低地部のデータが不足している地域を 中心として、台地部と低地部における地下水の関係解明を目的に、 96地点の調査及び解析を実施
	2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》 ➤ 地盤沈下や湧水に影響が生じる 地下水位とその水位に達する 揚水量の予測	○ 局所地下水流動・地盤変形連成モデルの構築 ・ 低地北部（足立区）で作成 ・ 層序の不確実性を考慮するため、遷移確率地球統計学に基づき、 候補となる地質モデルを複数構築 ・ 今後、過年度の揚水量分布に基づく数値シミュレーションを実施し、再現性を確認予定
基礎データ（地下水現況調査） の収集及び解析	3 不圧地下水の実態調査 《外部委託》 ➤ 水循環の観点から、不圧地下水 も含めた地下水全体の実態調査 を進め、知見を蓄積	○ 令和 4 年度から令和 6 年度に掛けて、湧水の状況や不圧地下水に関する知見を得るため 各種調査を実施した。

1 地下水流動系の解明 《筑波大学との共同研究》

～東京の地下水における涵養－流動－流出のプロセスの解明～

■取組の概要

地下水がどこで涵養され（起源：涵養域）、どのくらいの時間をかけ（滞留時間）、どこを流れているか（流動経路）を把握することにより、東京の地下水における涵養－流動－流出のプロセスの解明を目指す。

■実施体制

筑波大学（辻村研究室）と東京都環境科学研究所による共同研究（令和元年度開始）

■当研究の特徴

複雑な地形、地質構造に加え、一部の地域では大規模な揚水が行われていることから、東京の地下水流動系は非常に複雑であると言われている。これまで、観測井における水理水頭の観測結果から地下水の流向に関する大まかな検討はなされているものの、涵養源の推定や滞留時間の評価等に関する調査は十分に行われていなかった。

本研究では、建設局土センの観測井等の地下水、地表水（河川水、湖水等）、および湧水における同位体、溶存ガス等のトレーサー成分を分析し、観測井による水理水頭分布のデータと統合し解析することにより、東京における地下水の涵養－流動－流出のプロセスを解明する。

■展開方法

第1段階 被圧地下水の広域流動の概況把握

- 建設局の地下水位観測井（都内39地点83井）から採水、各種トレーサー分析を行い、水理水頭の空間分布と統合・解析し、地下水の流動方向、滞留時間等の概況を把握する。

第2段階 地下水と地表水との交流に関する概況把握

- 第1段階においてデータの不足していたエリアを中心に、地下水、河川水、湧水におけるトレーサー成分の空間分布を検討し、河川から地下水への涵養域、地下水から湧水、河川への流出域及び台地から低地への地下水流動等を把握する。

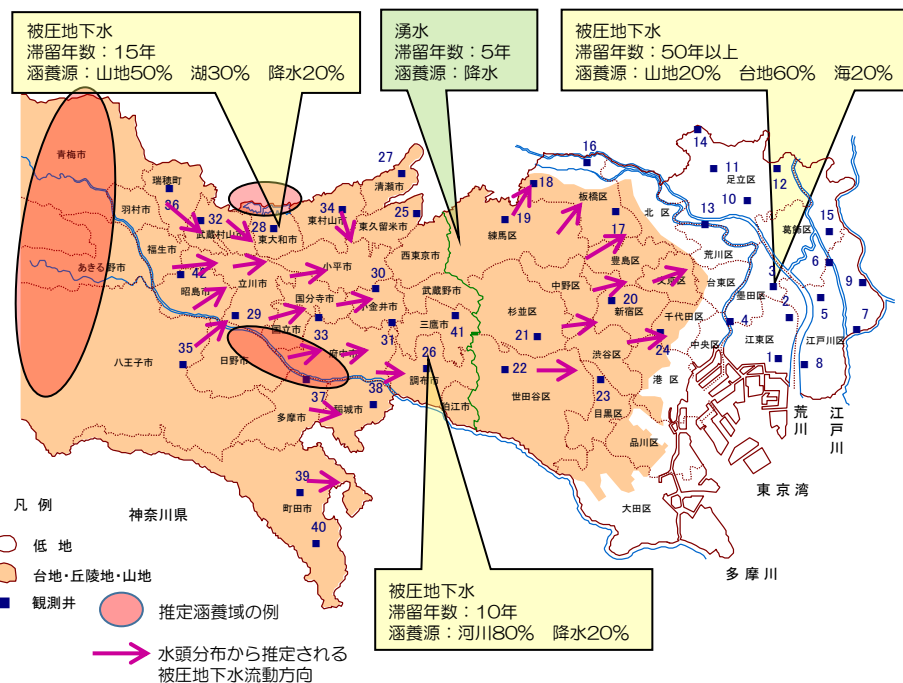
◆地下水の涵養年代が推定できるトレーサー

- ①トリチウム：1950年代水爆実験の前後を判別
- ②フロン：1940～90年代 ③SF₆：1970年代以降

◆涵養域や流動経路が推定できるトレーサー

- ④溶存イオン：複数地点における水の溶存イオン組成を比較し、流動過程における水－岩石間のイオン交換や滞留時間、流動経路に関する情報を得る。
- ⑤酸素・水素安定同位体比：質量数の異なる酸素18、水素2安定同位体比の値により、涵養域に関する情報や、流動過程における水の混合、相変化等に関する情報を得る。

《地下水流動系解明のイメージ》



(1) R6 研究内容

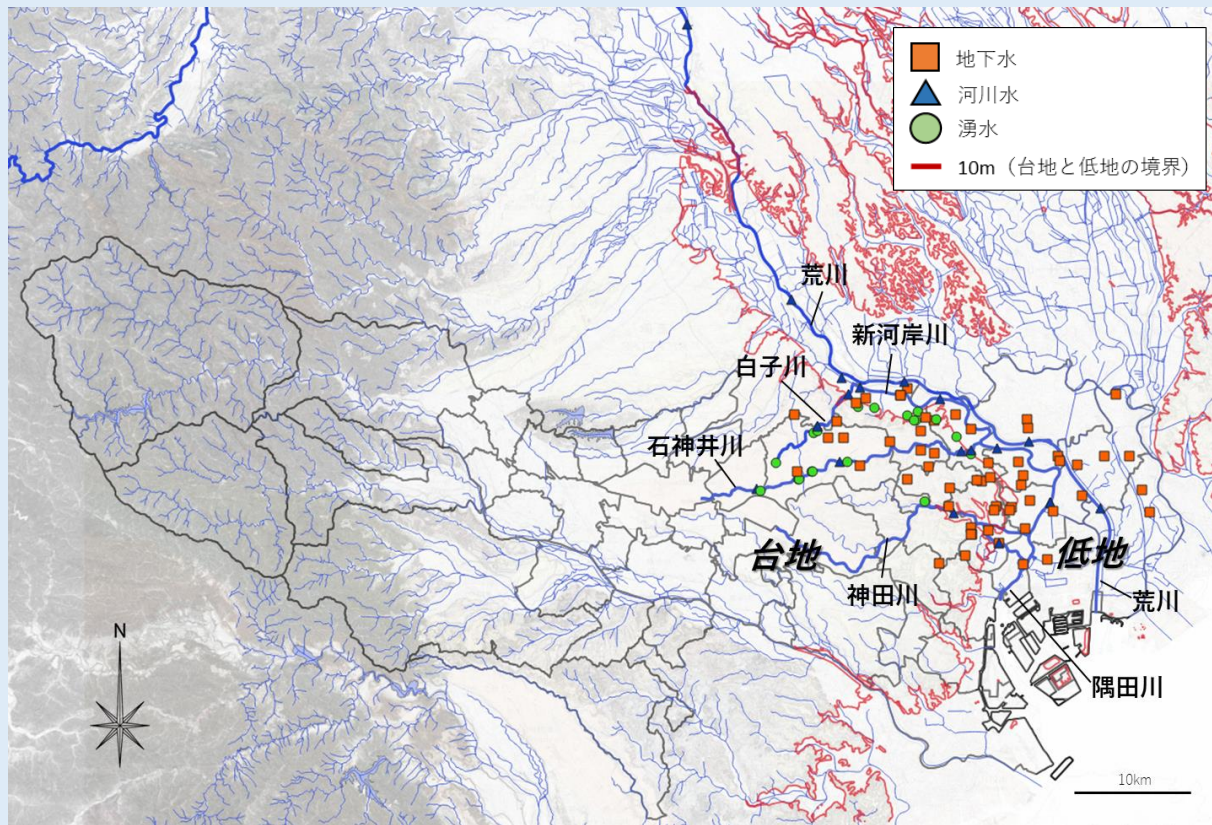
- ・多摩川中流域については河川水による地下水涵養が示唆



<目的> R6年度は区部北側の台地部から低地部のデータが不足している地域を中心として、台地部と低地部における地下水の関係解明を目的に、調査及び解析を実施

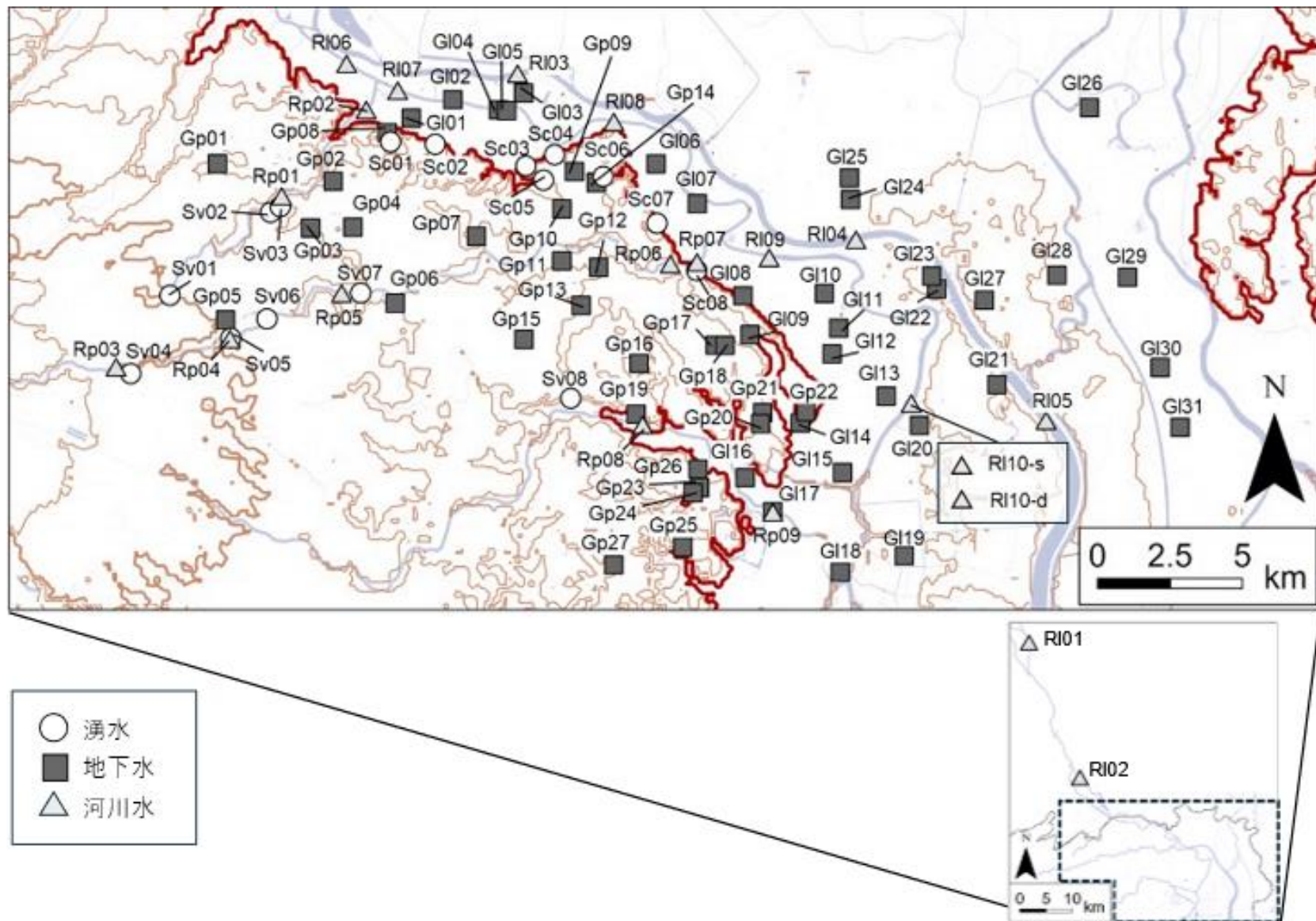
<調査地点>

対象	地域		地点数
河川水 (20地点)		白子川	3
		新河岸川	3
		石神井川	4
		神田川	1
		日本橋川	1
		隅田川	3
		荒川	5
湧水 (18地点)	台地	新宿区	1
		練馬区	7
		西東京市	1
	低地・ 台地	北区	3
板橋区		6	
地下水 (58地点)	台地	新宿区	2
		文京区	5
		豊島区	2
		練馬区	7
	低地・ 台地	台東区	4
		北区	5
		板橋区	11
	低地	千代田区	5
		中央区	1
		墨田区	2
		江東区	1
		荒川区	3
		足立区	4
葛飾区		4	
	江戸川区	2	
合計			96

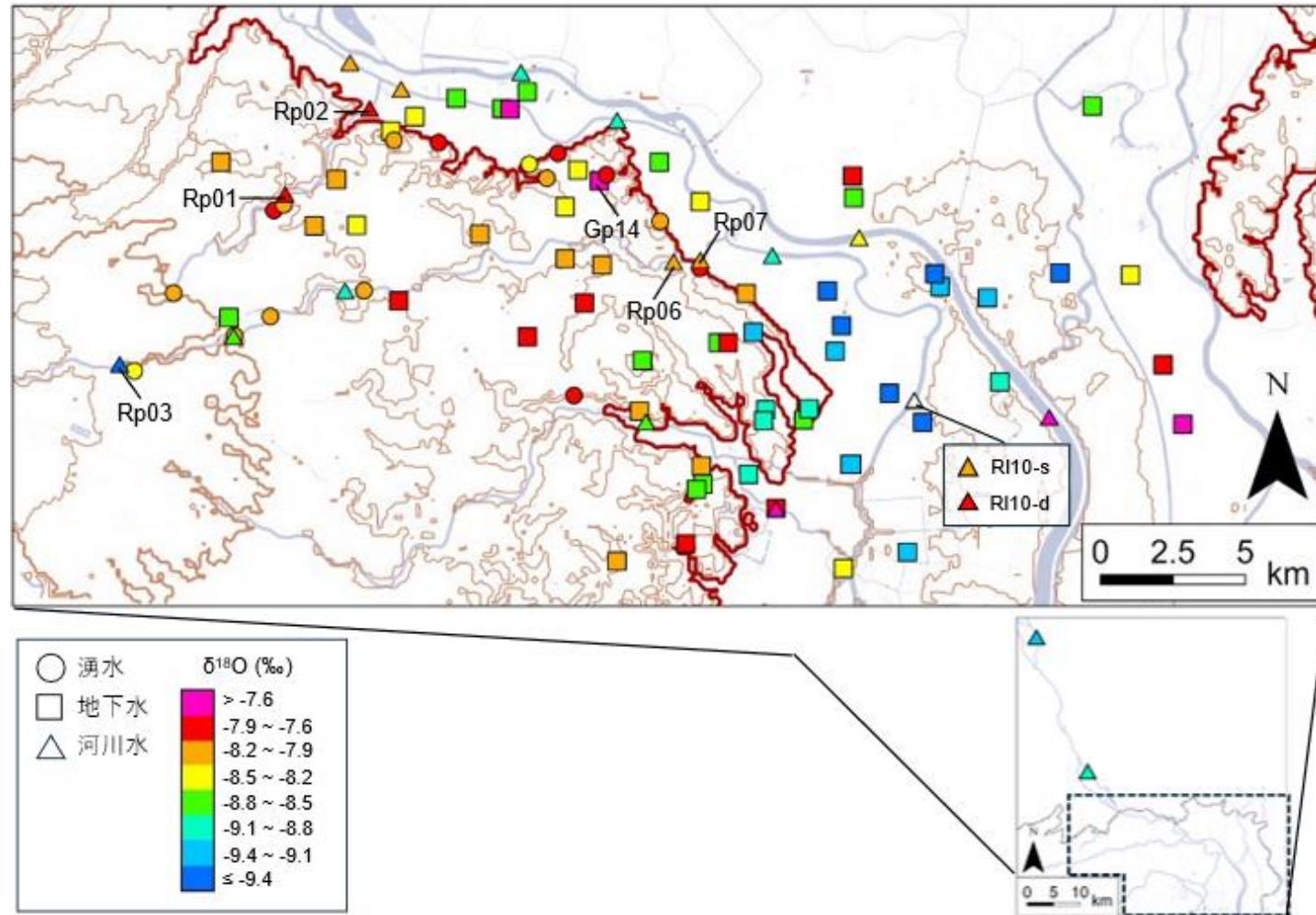


(2) R6 調査結果

湧水、地下水、河川水の主な採水地点

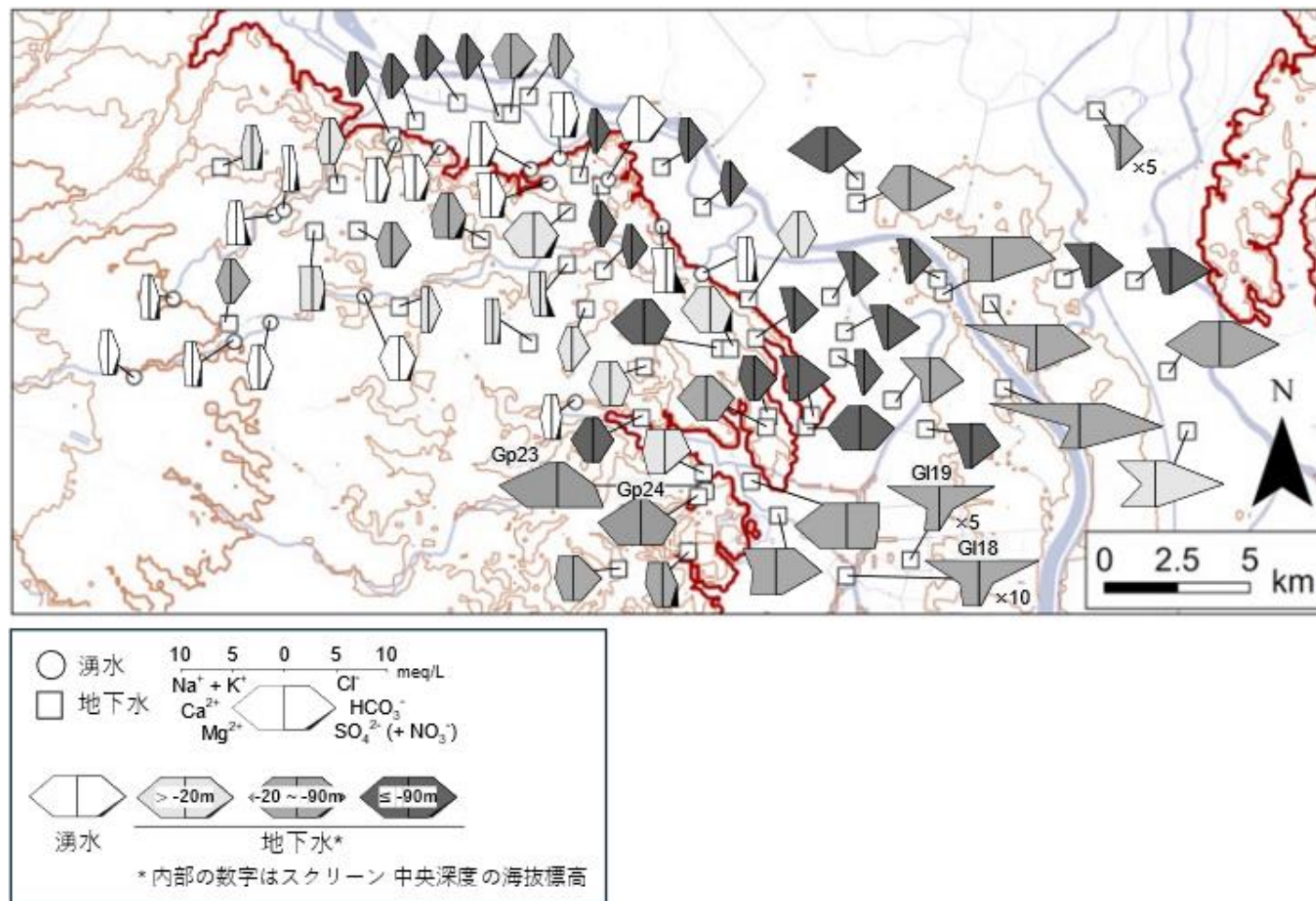


湧水、地下水、河川水における ^{18}O 酸素安定同位体比の空間分布



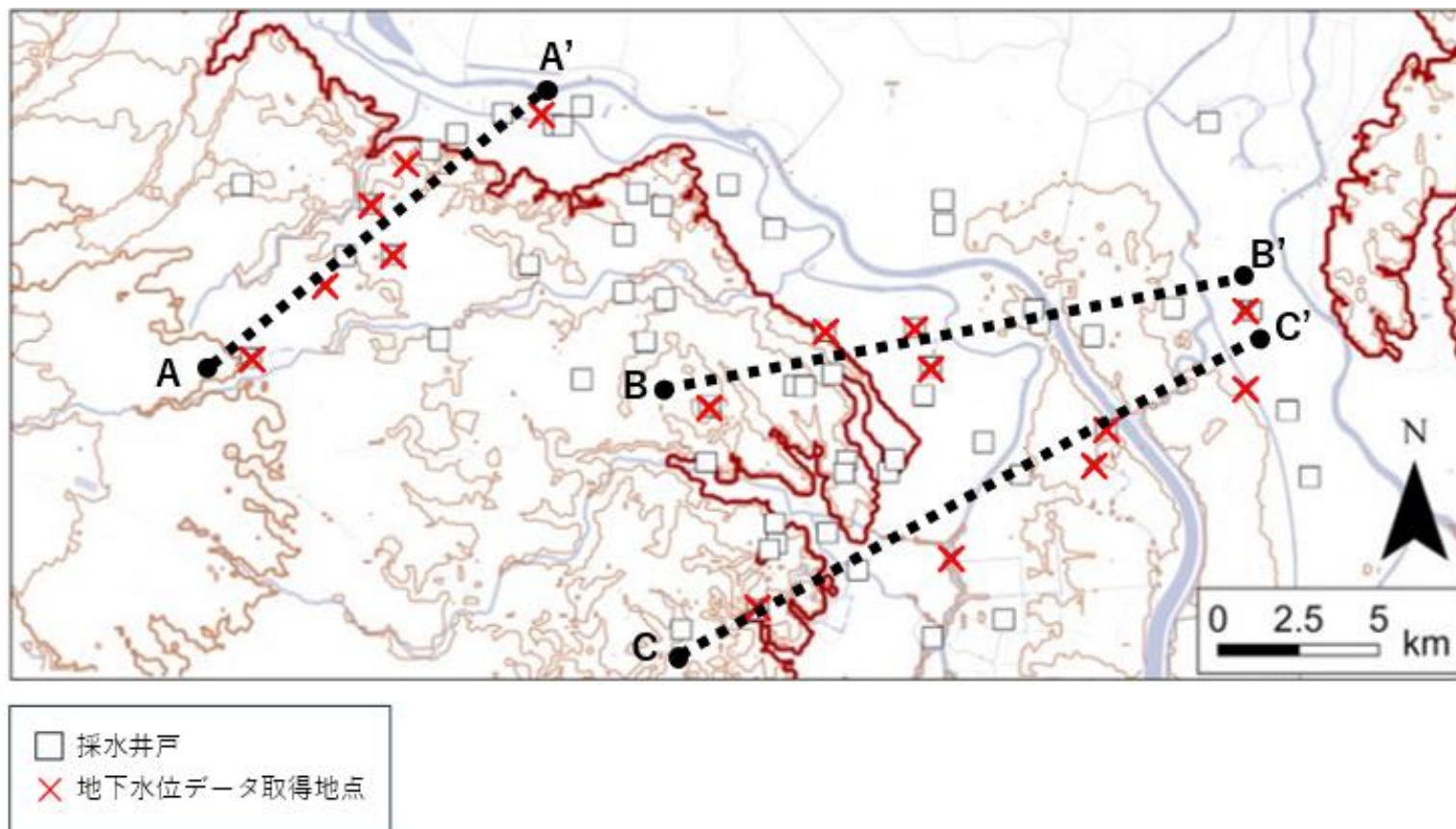
- ・ 台地の地下水における ^{18}O は低地におけるそれに比べ高い。
- ・ とくに台地中央部において高い傾向がある。
- ・ 一方、一部を除き、低地の地下水における ^{18}O は顕著に低い。
- ・ 台地－低地境界部の湧水・地下水の ^{18}O は、台地中央部のそれに比べ低い傾向がある。
- ・ 台地－低地境界部においては、湧水・地下水の ^{18}O が、類似の値を示しているようにみられる。

湧水、地下水における無機溶存成分濃度の空間分布



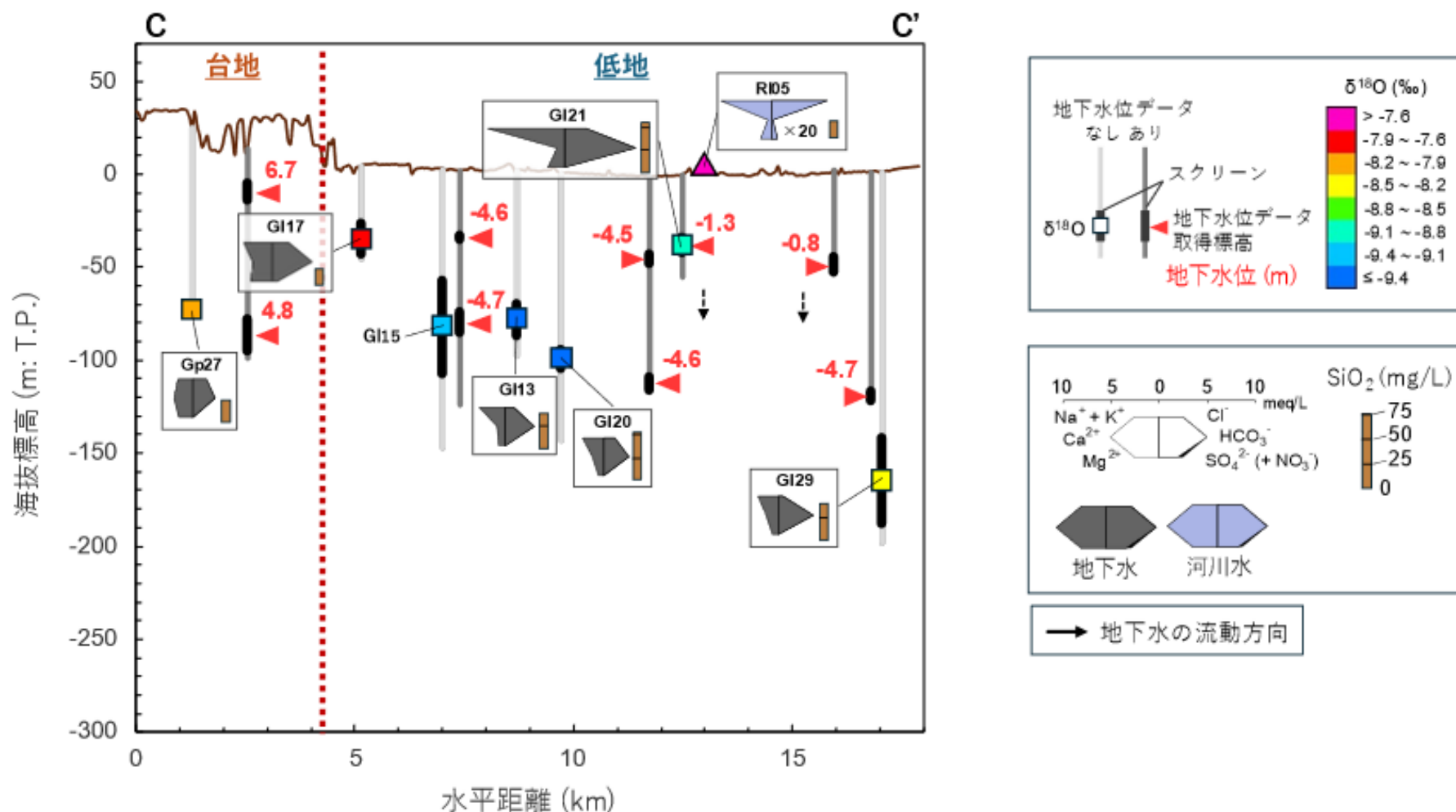
- ・ 台地における湧水・地下水の溶存成分濃度は、低地のそれに比較し低い傾向がみられる。
- ・ 台地における湧水・地下水の溶存成分濃度には、主にカルシウムと重炭酸濃度が相対的に高い特徴がみられる。
- ・ 一方、低地においては、北部を除き、主にナトリウムと重炭酸濃度が高い特徴がみられる。
- ・ 北部では、台地－低地境界部において、台地の地下水における溶存成分濃度の特徴と、低地のそれに類似点がみられることから、台地から低地に至る地下水の連続性が認められる。

主な断面の測線



次頁以降の図において、各断面における地下水の溶存成分濃度の特徴と流動経路との関係を示す。

台地－低地断面における各種成分等の分布

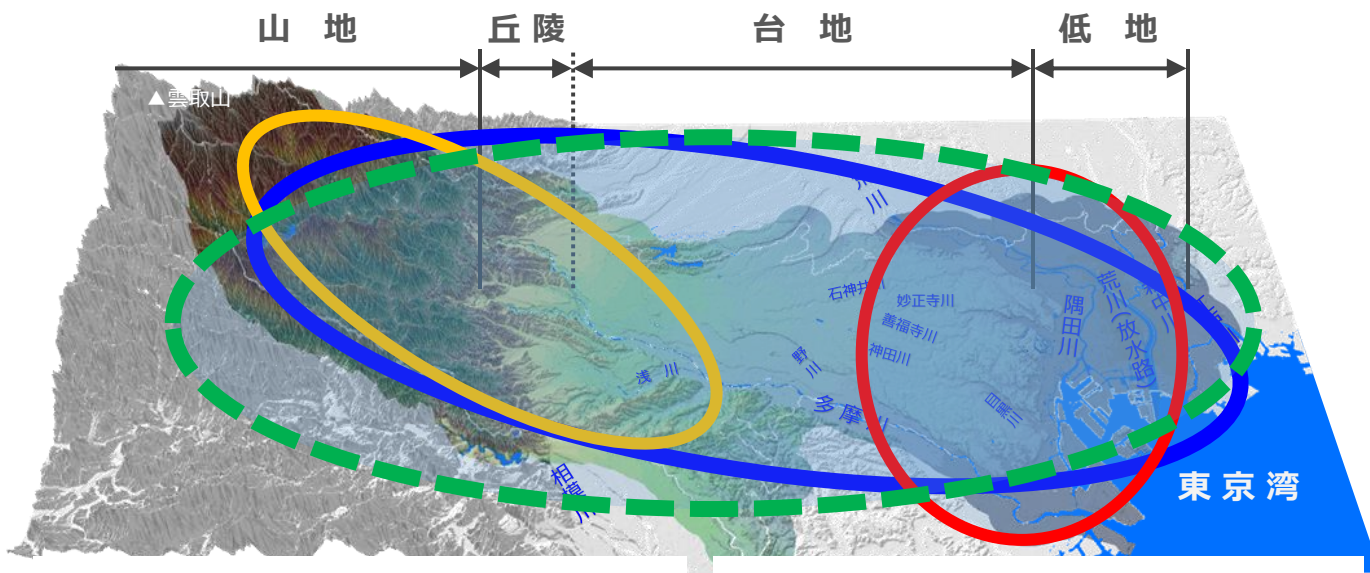


- ・ C-C'断面においては、低地における地下水の水理水頭に明確な空間分布が見られず、この断面は地下水の主な流動方向と一致していないものと考えられる。
- ・ 加えて、台地の地下水における溶存成分濃度と低地のそれには、明確な類似性がみられない。
- ・ C-C'断面方向においては、台地から低地に至る地下水の流動は、顕著にはみられないものと判断される。

(3) R6研究結果まとめ

- ・ 台地－低地境界部の主に北側でこれまでデータが不足している地域を中心に調査を行い、既存の水理水頭等のデータも併せて解析した結果、対象地域の北側においては、深度100 mから200 m程度までの地下水が、台地から低地に向かい流動していることが示唆された。一方、対象地域の南側では、台地と低地の深度100 mから150 m程度までの地下水において、連続性を示すデータはみられなかった。
- ・ 台地－低地境界部における地下水の連続性には、地域的な差異があるものと思量される。

(4) 今後の展開①



○R4調査

多摩川などの河川と地下水の交流について調査。山地から台地へと至る領域の多摩川の河川が水輸送に果たす役割を解明

○R5, 6調査

区部台地部から低地部のデータが不足している地域を中心として、区部台地部と低地部における地下水の関係を解明

○～R3調査

都内広域の地下水観測井、民間井戸、河川、湧水、降水の調査を行い、多摩部と区部低地部の水質の違いや複雑な3次元的な流動について解明

○R7調査（予定）

山地から台地への移行域、台地の南西部・北西部、低地の北東部等、これまでの調査でデータが不足している地域を中心として、調査を実施

(4) 今後の展開②

○都内地下水流動の三次元可視化（R7年度）

【目的】

これまで筑波大学と東京都環境科学研究所で協働で行ってきた地下水調査結果に基づき、さらに並行して別途開発してきた東京地域の涵養域から低地に至る地下水流動三次元数値モデルによる解析結果を加え、東京地域の地下水流動に関する三次元可視化を試行する。さらに、いくつかの地域を対象に、動画により地下水流動を三次元的に可視化することも試行する。

【具体的な内容】

- 地下水調査結果に基づき、水理水頭およびトレーサーの三次元空間分布解析を行う。
- データの少ない地域を対象において、数値モデルによる計算結果により地下水の水理水頭データを補完する。
- 地下水の水理水頭における三次元空間分布を可視化する。
- 地下水の水理水頭分布に基づく地下水の流線を、三次元的に可視化する。特に、台地西部の多摩川からの涵養が想定される地域、台地中央部の水理水頭の顕著な低下がみられる地域、低地部について、任意の地点・深度・方向を指定した場合、その点を起点とする地下水の流線が可視化される。

2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測

■取組の概要 地下水の揚水が地下水位や地盤に与える影響（揚水-地下水-地盤の関係）を定量化し、地盤沈下が起きる地下水位や湧水に影響が生じる地下水位、またその地下水位に達する揚水量等を予測する。

■実施体制 東京大学（愛知研究室）と東京都環境科学研究所による共同研究（平成29年度開始）

■展開方法

第1段階

建設局土セン観測井における過去の地下水位と地盤収縮の履歴を高精度に再現する一次元地盤沈下モデルを作成し、地盤物性値を推定

第2段階【現段階】

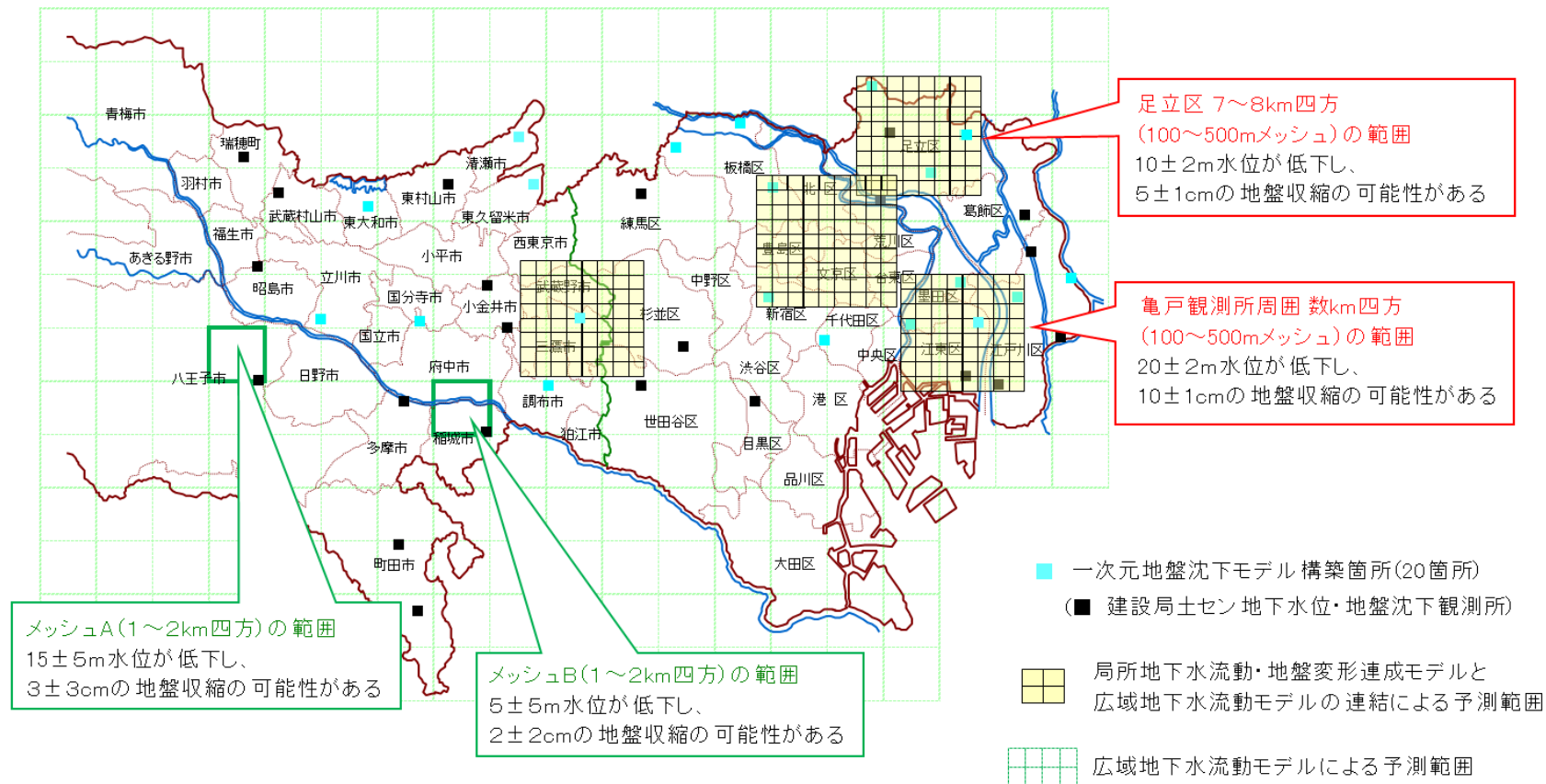
建設局土セン観測井の周辺に、過去の地下水位と地盤収縮の履歴を高精度に再現する局所地下水流動・地盤変形連成モデルを作成

第3段階

局所地下水流動・地盤変形連成モデルを広域地下水流動モデルと連結し、帯水層がつながる地下水流動を考慮した高精度予測を実施

■シミュレーション結果イメージ

想定：都内の揚水量が●●年の△倍に増加した場合



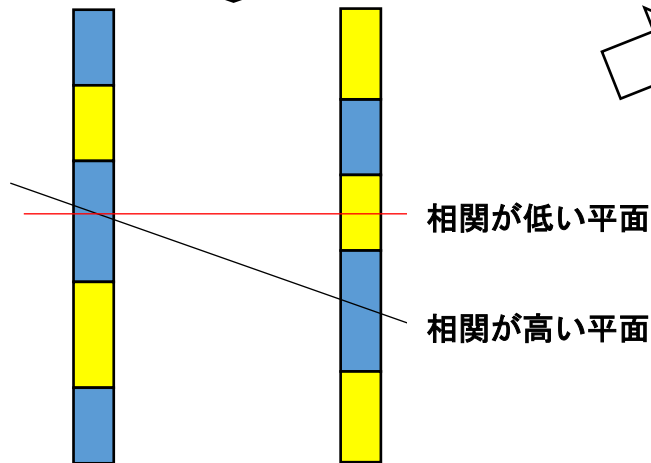
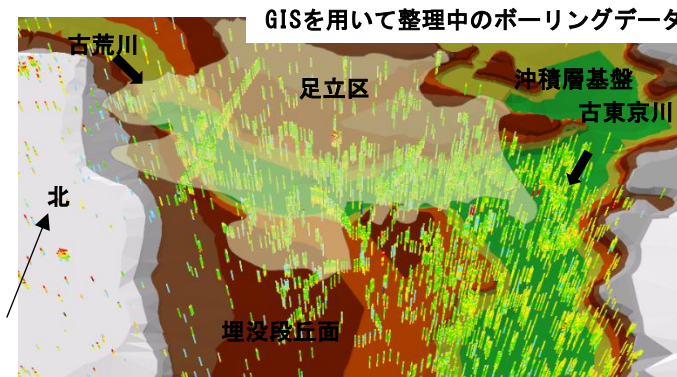
2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測

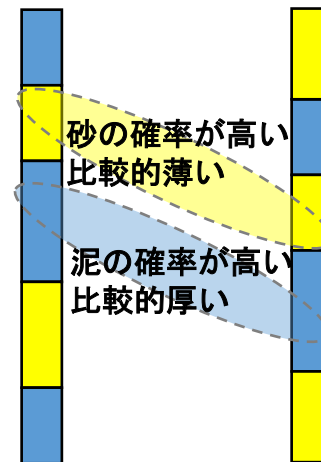
R6 研究内容：足立区の局所地下水流動・地盤変形連成モデルの作成

東京層群を含めたモデルのリアライゼーションを複数構築するとともに揚水量データを入力して試解析を実施

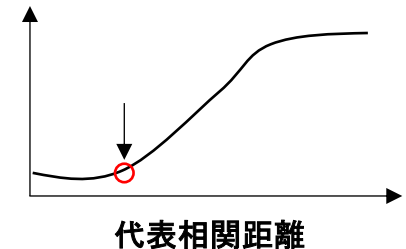
1. ボーリング情報から各層の走向・傾斜を推定



2. 推定した走向・傾斜の方向に重みを増加したカーネル密度推定により、層相の存在確率分布と層厚の期待値を推定



平均情報エントロピー
(≡ “何でもあり” の度合)



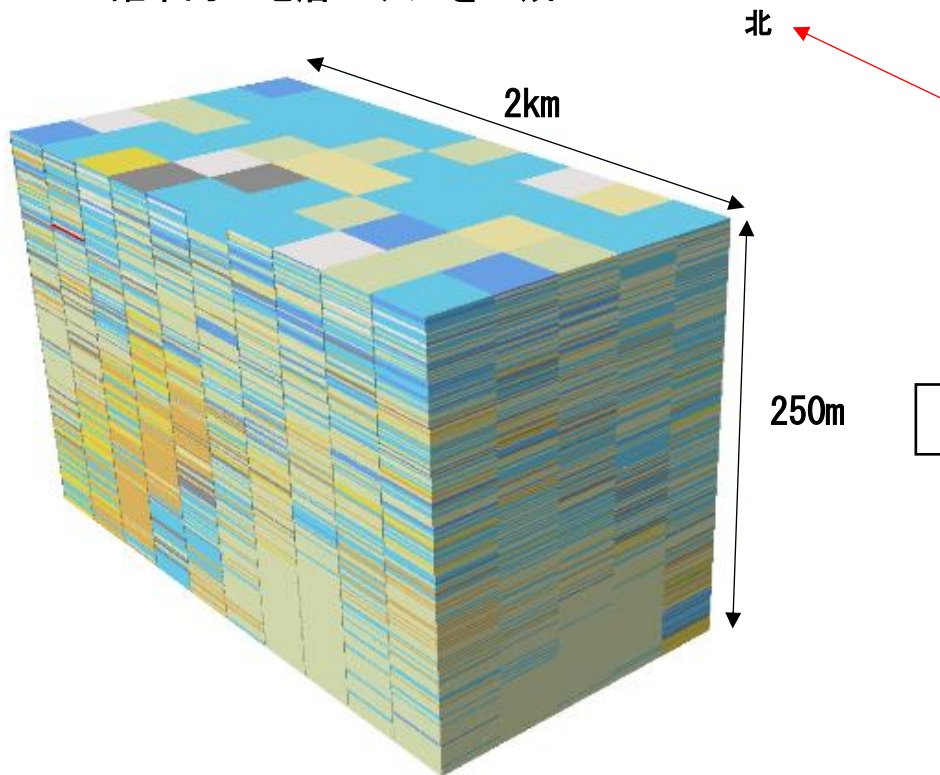
- 走向・傾斜の方向に対する重み係数は、距離が離れるにつれてそのボーリング情報が、どこまで参考に行けるかということに対応する
- 少しずつ距離を伸ばしながら確率分布の推定を試行し、推定確率分布の平均情報エントロピーが増大し始める（相関が悪いボーリング情報を含むようになって、推定不確実性が増加する）直前の距離に基づいて決定

- 層相だけでなく、化石、火山灰、N値等も一致すれば、相関値を加点
- 相関値に比例して、確率的に走向・傾斜の仮定を選択

2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測

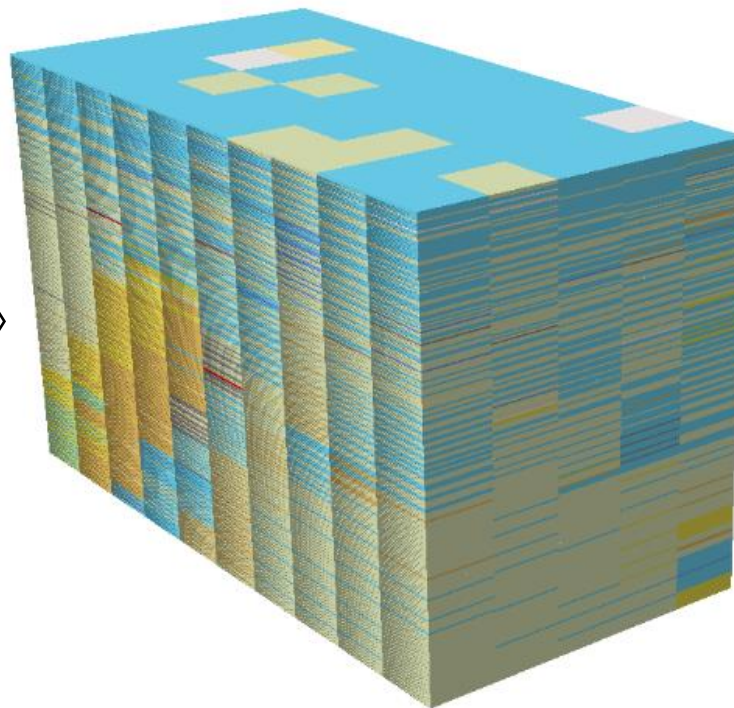
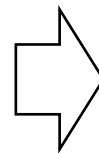
3. 層相の存在確率分布に基づき、
確率的に地層モデルを生成



足立区北東部でのテスト例

(存在確率だけだと、薄層の互層も生成されうる)

4. 焼鈍法により、層厚分布が期待値に
近くなるように確率的に修正



層相変化の連続性が向上

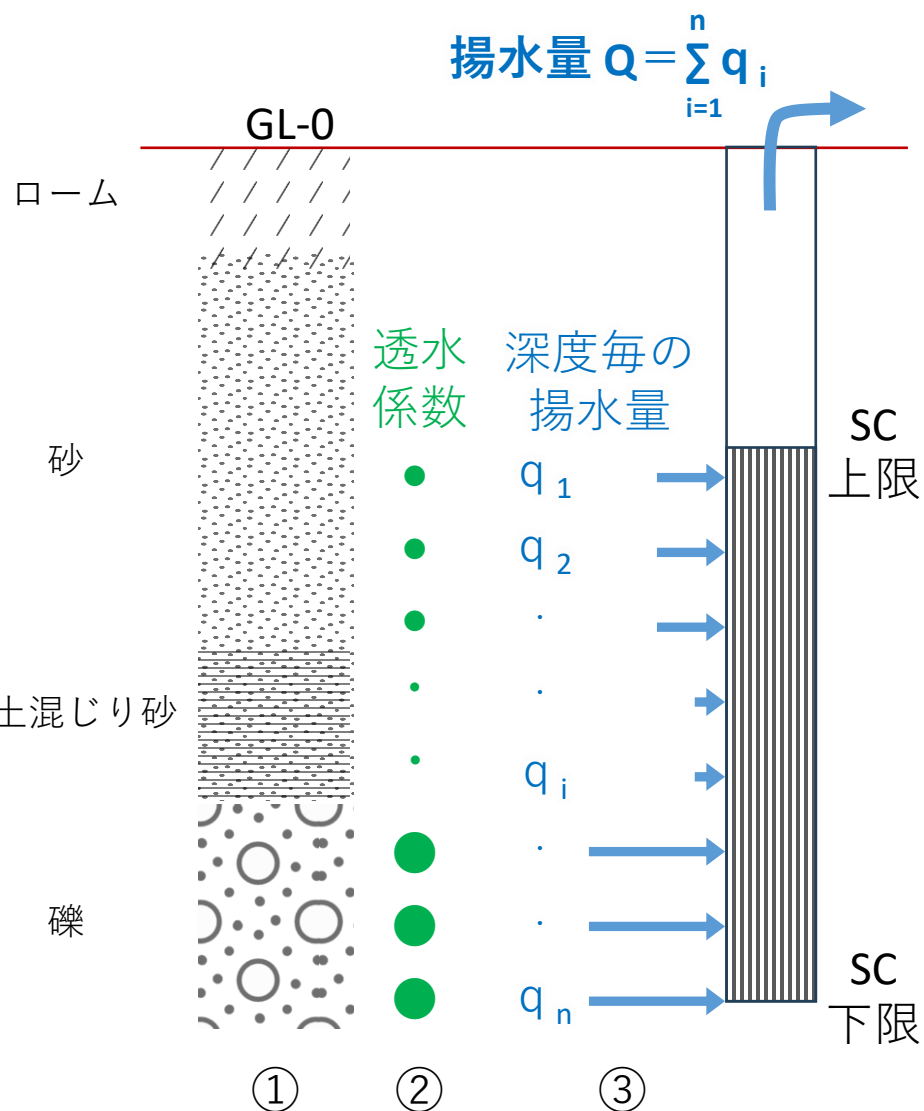
足立区全域に広げたモデルを作成中

凡例

test
facies

シルト
ローム
中砂、粗砂
砂
礫
粘土
細砂
腐植土
表土

○数値シミュレーションに向けた揚水量データ整理



揚水量深度配分の概念図

整理中のデータ

- ・ 井戸単位の揚水量データ (Q)
- ・ 井戸の所在地 (x, y)
- ・ 井戸深度、SC深度データ (z)

手順

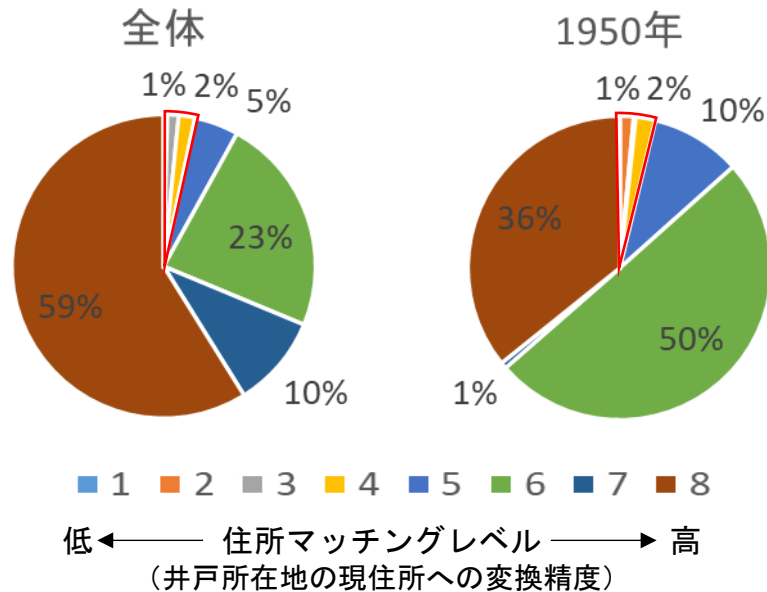
- ①局所地質モデルにより 1 m 毎の土質を生成
↓
- ②土質に応じた透水係数（一次元モデルで得られた推計値）を初期値として設定
↓
- ③揚水量 (Q) 及びSC深度データ (z) から透水係数に応じた1m毎の揚水量 (q) を算出
↓
- ④井戸の所在地 (x, y)を基に水平方向100mメッシュ単位でモデルにインプットし数値シミュレーションを実施することで、再現性を確認予定

課題

- ・ 水平方向への分配方法

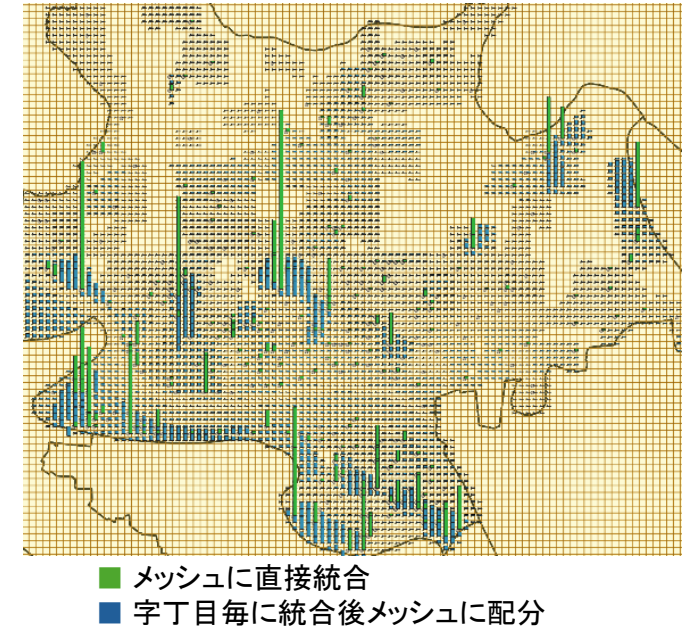
○数値シミュレーションに向けた揚水量データ整理（水平方向の分配の考え方）

住所のマッチングレベルごとの揚水量



住所のマッチングレベル4（字丁目まで特定）
以下の精度のものは全体の3%程度
→住所不定により字丁目の中心座標に配置せざるを得ないような揚水量は少ない。

100mメッシュの場合の分布



実際に揚水が集中している地点とそうでない地点があり、左記の住所不定による位置誤差を気にして字丁目ごとに面積按分してから設定するより、井戸ごとの位置座標に基づいて設定した方が、より現実に近いと考えられる。

令和7年度以降の予定

- ・広域モデルと連結した足立区局所モデルに揚水量分布を設定し、再現シミュレーションを実施
- ・他地域（低地南部、台地上、台地低地境界付近）の局所モデル構築
- ・別途、地盤沈下・地下水位のモニタリングデータから塑性変形開始を検知するための技術開発に関して検討を行う（次スライド参照）

塑性変形確率推定法の検証（R 7 年度～）

【背景、必要性】

・これまでの共同研究の成果を用いて、予察的なシミュレーションを行ったところ、弾性変形（可逆的な地盤沈下）から塑性変形（不可逆的な地盤沈下）に移行するタイミングにおいて、地盤沈下モニタリングデータから明確な挙動の変化を目視で検知することは、きわめて困難であることが判明

⇒今後の地下水管理において、モニタリングデータから塑性変形状態であるか否かを推定するための技術開発が必要不可欠

・現在、塑性変形が生じているか否かを確率的に評価し、警告につなげていく推定技術の開発を数値モデルにより机上検討

・有効性が期待できるような結果が得られつつあるが、数値モデルが実地盤を反映できているか否か不明なため、実地盤材料から得られるデータでの検証が必要

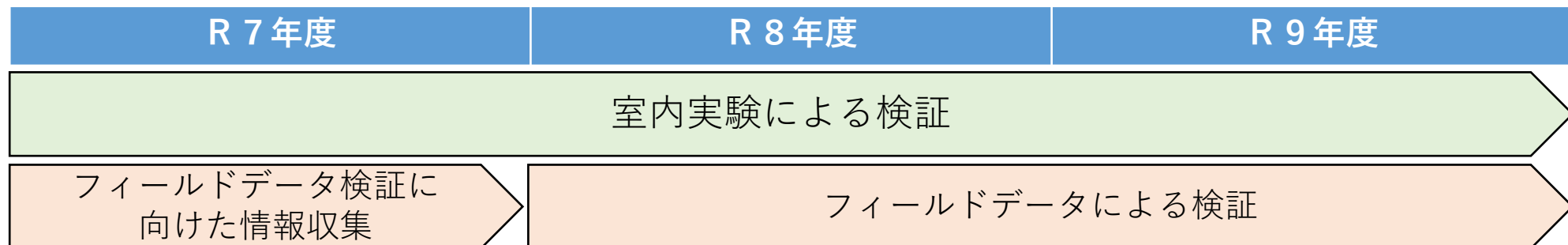
⇒この技術の実証の一環として、透明な粘土鉱物であるラポナイトを用いた室内実験に基づく検証を行うことを検討
また、塑性変形の判断確率向上のために、磁気式沈下計のフィールドデータによる検証を実施

【成果の活用】

・塑性変形が生じたタイミングとその領域を可視化した地盤沈下実験の結果を用いて、塑性変形確率推定技術の精度検証が可能

⇒シミュレーションモデルの精度向上及び今後の地下水管理手法の確立に寄与

【スケジュール（予定）】



○不圧地下水の実態把握

令和4年度 湧水実態把握調査

➤ 目的

地下水保全施策上実態把握の必要性が高い**湧水のモニタリング**として、**水量等の基礎データ**を取得

➤ 調査内容

都内の主要な湧水56地点において、豊水期と渇水期の2回、湧水量等の調査を実施

➤ 結果概要

湧水量について、**前回（平成28年度）の調査と比較し、12地点で湧水量が5割以下に減少**していたが、調査前30日の合計降水量が大きく減少している影響が大きいと考えられた。水質（pH,EC,TOC等）については、大きく悪化した項目は無かった。

令和5年度 湧水分布状況調査（湧水マップ作成）

➤ 目的

湧水保全を目的とした普及啓発の取組として、都内の湧水の分布状況について5年ごとに取りまとめ、「**湧水マップ**」を作成し公表

➤ 調査内容

区市町村に湧水地点の状況調査を依頼、回答に基づき情報を更新

➤ 結果概要

都内湧水地点数は591点、平成30年度と比較して17増34減となった。増加理由の多くは、従来より湧出していたと考えられる地点が調査の充実により発見された、またはマップ未掲載地点の掲載化によるもの。減少理由には、枯渇のほか、土地改変、自然湧出ではないことの判明、複数地点の湧水群としての統合化などがある。

令和5,6年度 観測井現況調査・維持管理調査

➤ 目的

湧水涵養域調査（平成4～7年度）の際に設置した**浅井戸**について、**今後の利活用を検討**

➤ 調査内容

カメラ調査等により井戸の健全性を確認し、洗浄により機能を回復するとともに、水位計を設置

➤ 結果概要

洗浄可能な井戸について、ブラッシングや堆積物の浚渫を実施。**計6本の井戸に水位計を設置し、15分間隔でデータを取得**。うち2本の井戸では、水位のほか、電気伝導率も測定。今後もデータの取得を継続する。



今後、湧水や涵養域の保全に資するデータ（湧水量・不圧地下水位等）を継続的に取得し蓄積していく