

地下水の実態把握の取組について

➤ 各調査研究の実施状況等

	調査研究	実施状況等（R 7 年 1 0 月時点）
専門性の高い調査研究	<p>1 地下水流動系の解明 《筑波大学との共同研究》</p> <p>➤ 東京の地下水における 涵養－流動－流出 のプロセスの解明</p>	<p>○ 地下水の広域流動の概況把握</p> <ul style="list-style-type: none"> 令和 3 年度以前まで 都内広域の土セン観測井、民間井戸、河川、湧水、降水の採水を行い、溶存イオン、酸素安定同位体、六フッ化硫黄（SF6）等の分析を実施 多摩部と区部低地部の水質の違いや複雑な三次元的流動について解明 令和 4 年度 多摩川中流域における河川と地下水、湧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 令和 5 ～ 6 年度 区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、調査及び解析を実施 令和 7 年度 都内全域の地下水流動系を明らかにする目的の中で、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、南西側山地から台地への移行域及び低地から北東への地下水流動の解明を目的に、調査及び解析を実施予定
	<p>2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》</p> <p>➤ 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</p>	<p>○ 一次元地盤沈下モデルの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> 令和 5 年度まで 台地と低地で広域的に地下水が利用されている舎人層を対象に23カ所の建設局土セン観測井において一次元地盤沈下モデルを作成し、地盤変動量の再現を確認 <p>○ 局所地下水流動・地盤変形連成モデルの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> 低地北部（足立区）で作成中 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 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

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。

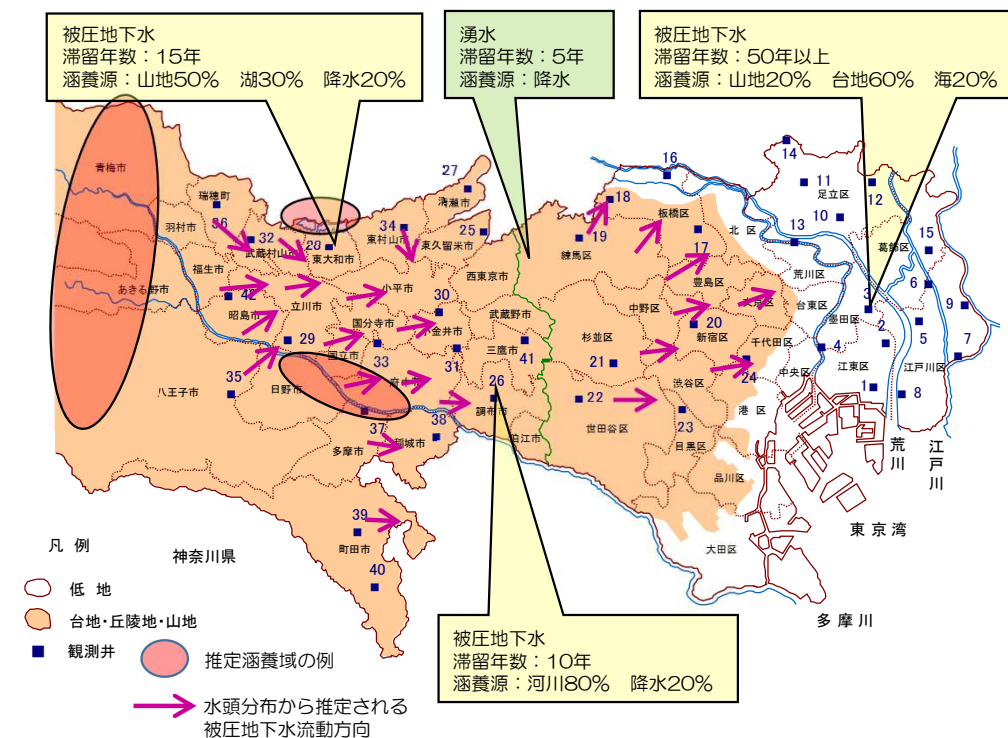
◆地下水の涵養年代が推定できるトレーサー

- 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

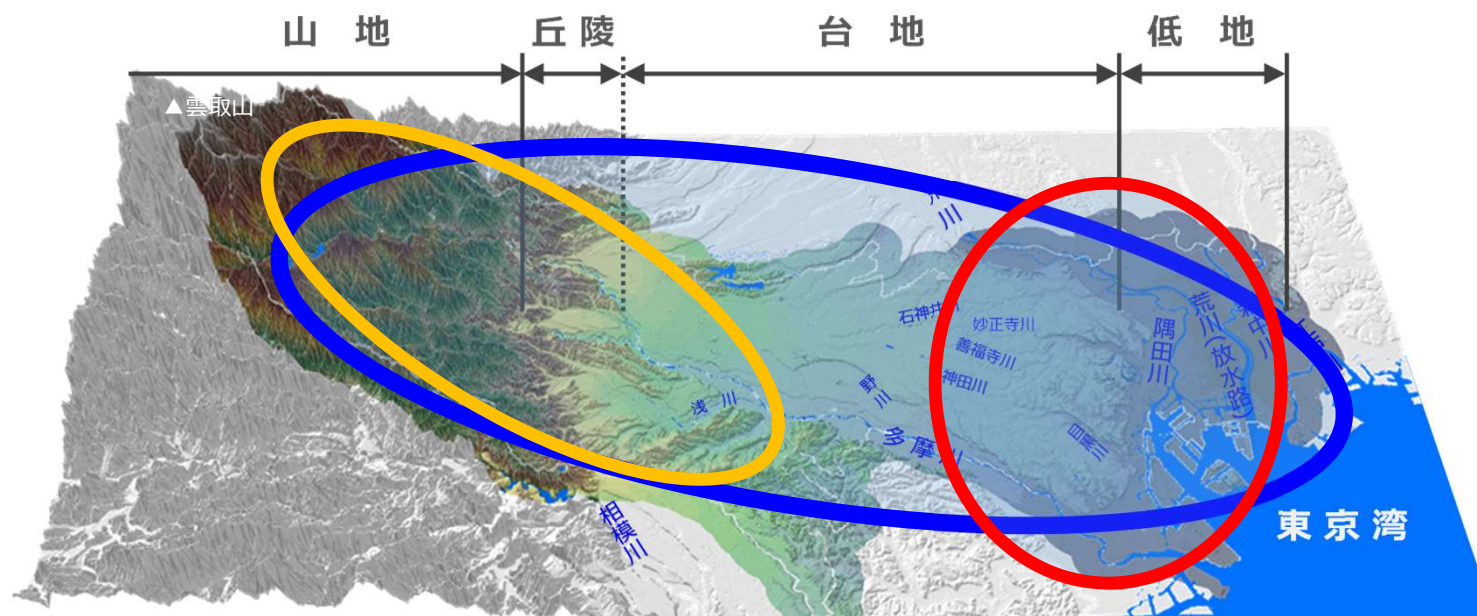
◆涵養域や流動経路が推定できるトレーサー

- 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 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～ (1) これまでの成果 (～R6)



○～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次元流動について解明

○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

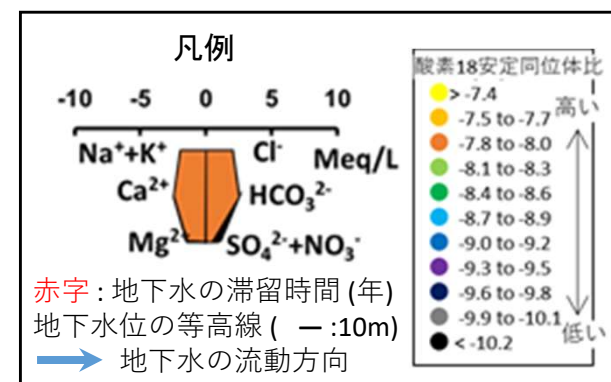
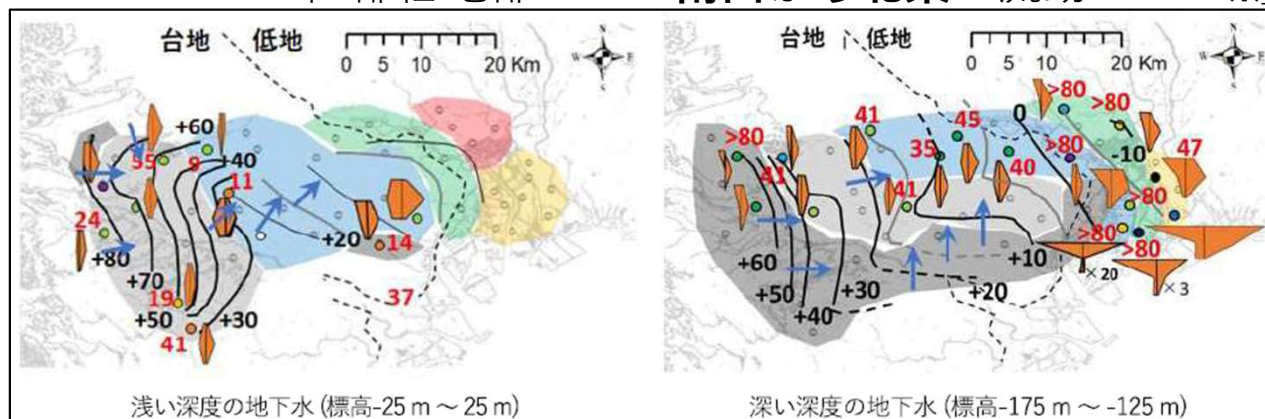
区部台地部から低地部のデータが不足している地域を中心として、区部台地部と低地部における地下水の関係を解明

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～ (1) これまでの成果 (～R6)

○水平方向の流動と水質等の分布

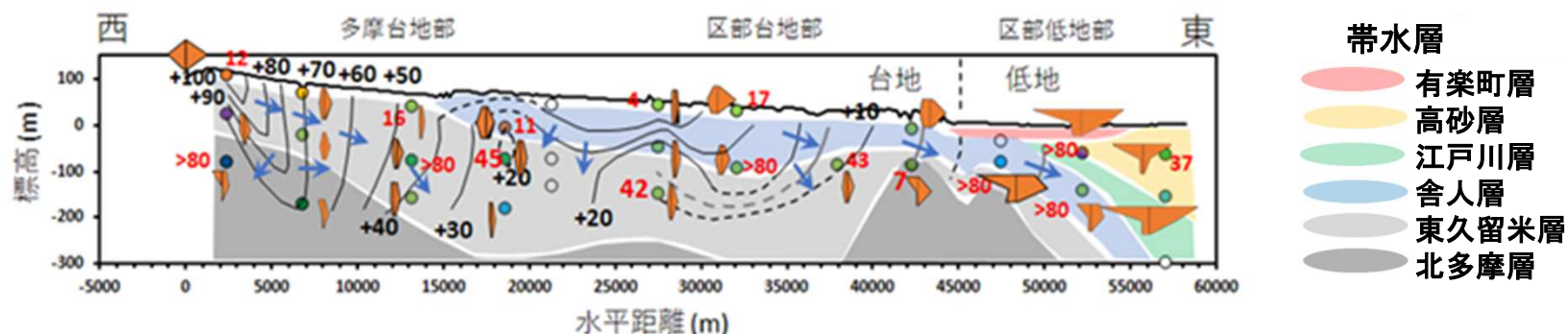
- 【浅い深度】 多摩台地部・・・西から東へ地形に沿って流動
 区部台地部・・・南西から北東へ流動
- 【深い深度】 区部台地部・・・南から北、西から東へ流動
 区部低地部・・・南西から北東へ流動

※研究途上のため、今後修正される可能性有



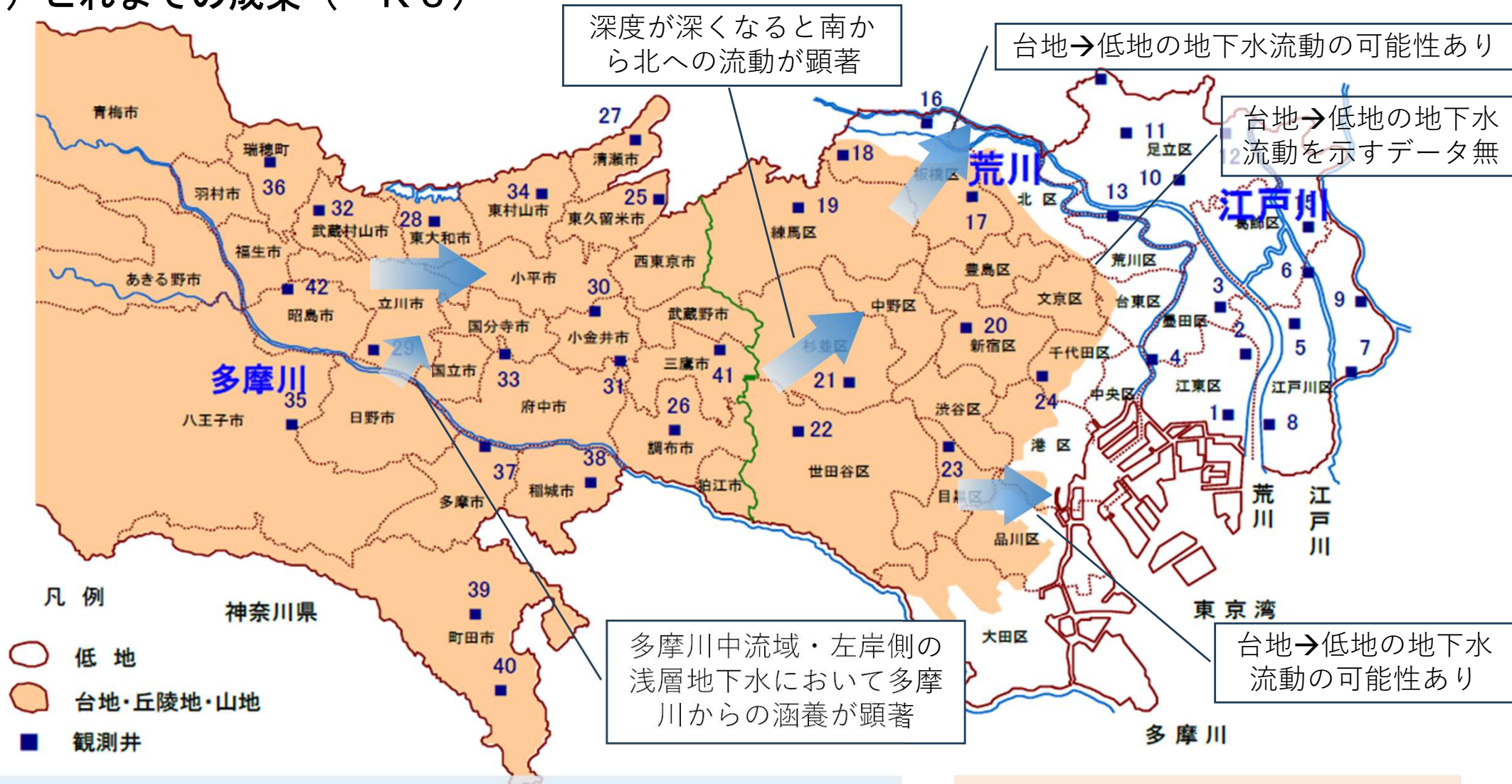
○鉛直方向の流動と水質等の分布

多摩と区部台地部の境界付近での鉛直下向きの流動、区部台地部において帯水層を超える複雑な流動



低地部では滞留時間が80年以上と顕著に古く、安定同位体比の特徴も考慮すると、標高の高いところから長い時間かけて流動してきたことが示唆

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～ (1) これまでの成果 (～R6)



明らかになった点

- ・台地部浅層では地形に沿って西から東に向かう流動が卓越
- ・台地部・低地部深層では、基盤岩形状の影響を受け、南西から北東に向かう流動が卓越（台地部中央の深層で一部水位の低下）
- ・台地－低地境界の北部と南部において、台地から低地への流動の可能性
- ・山地部から低地部に至る深層の流動の可能性

課題

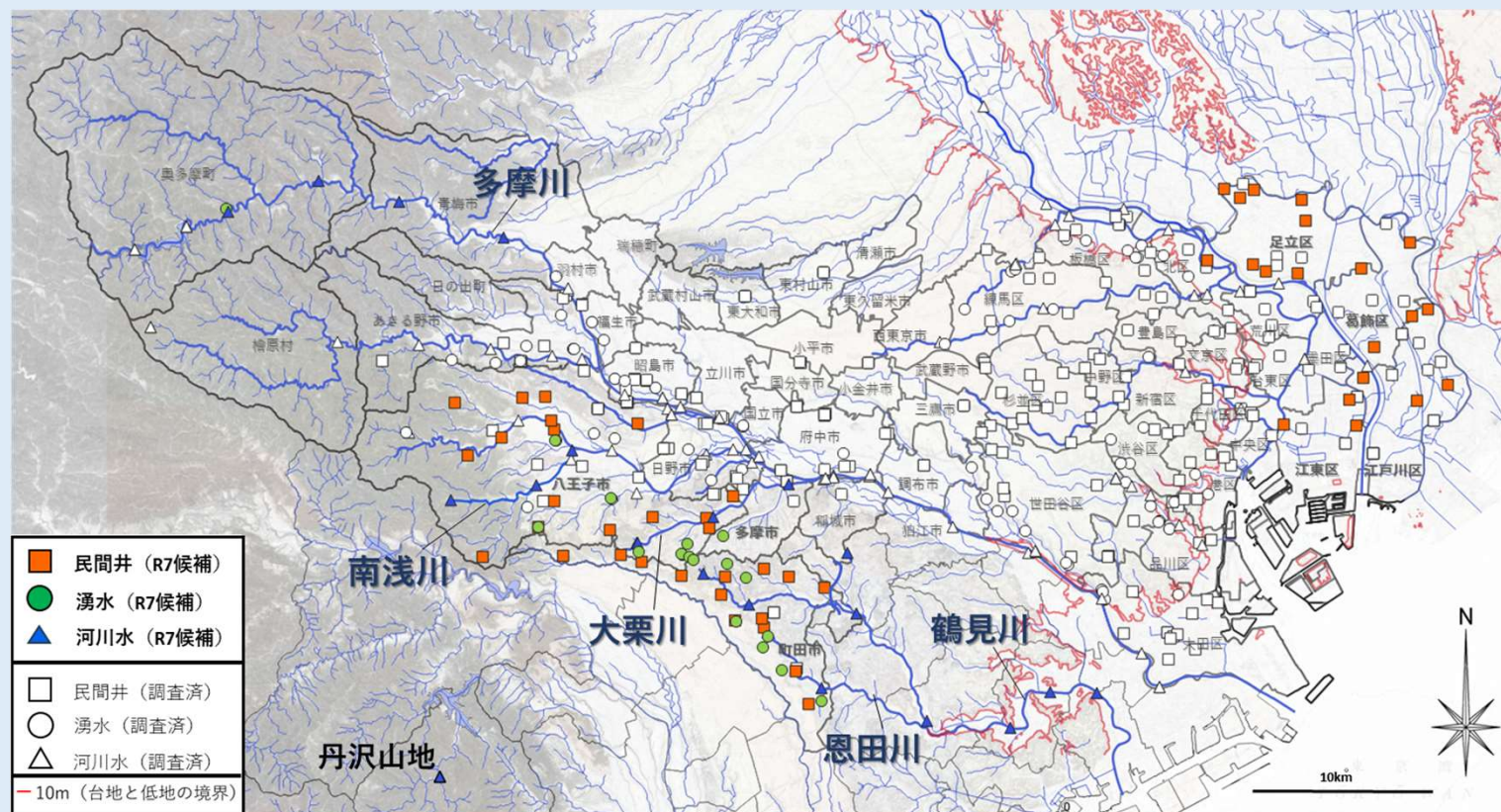
- ・3次元的な地下水流動の可視化
- ・都境を超えた南西から北東への流動
- ・低地部における高塩素イオン濃度の起源

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～ (2) R7 研究内容

＜目的＞ 都内全域の地下水流動系を明らかにする目的の中で、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、南西側山地から台地への移行域及び低地から北東への地下水流動の解明を目的に、調査及び解析を実施予定

＜調査地点(予定含む)＞

対象	地域		地点数
河川水	南浅川	八王子市	3
	大栗川	八王子市 多摩市	3
	鶴見川水系	町田市 川崎市 横浜市	9
	多摩川	奥多摩町 青梅市	3
	丹沢山地 溪流	秦野市 清川村	4
湧水	多摩丘陵 及び周辺	八王子市 町田市	15~20
	その他	奥多摩町	1
		秦野市	1
地下水	多摩 台地部	八王子市 町田市	15~20
	区部 低地部	足立区	10~15
		葛飾区	
		江東区	
江戸川区			
合計			64~79



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～

(2) R7 研究内容（都内地下水流動の三次元可視化）

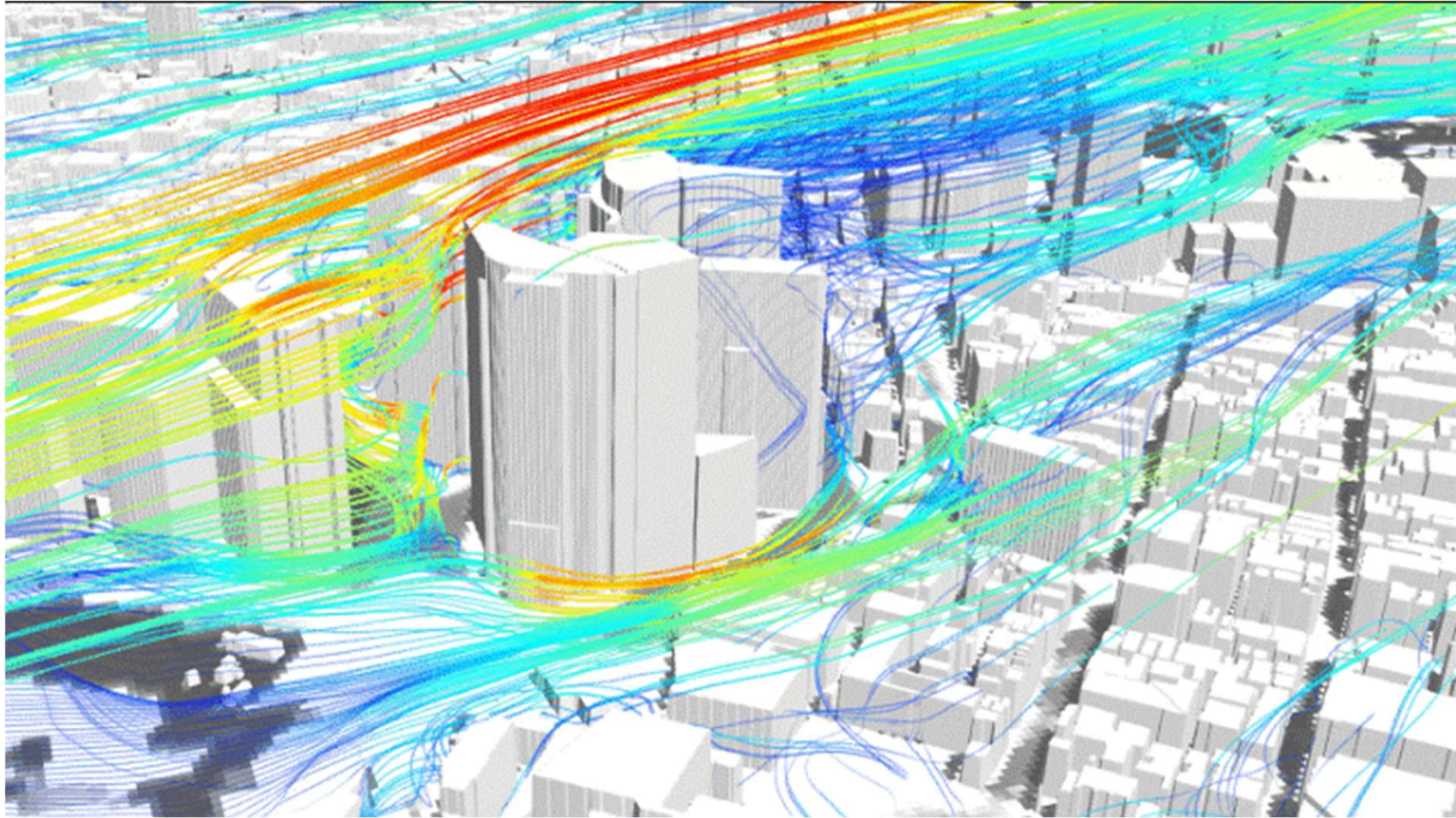
【目的】

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】

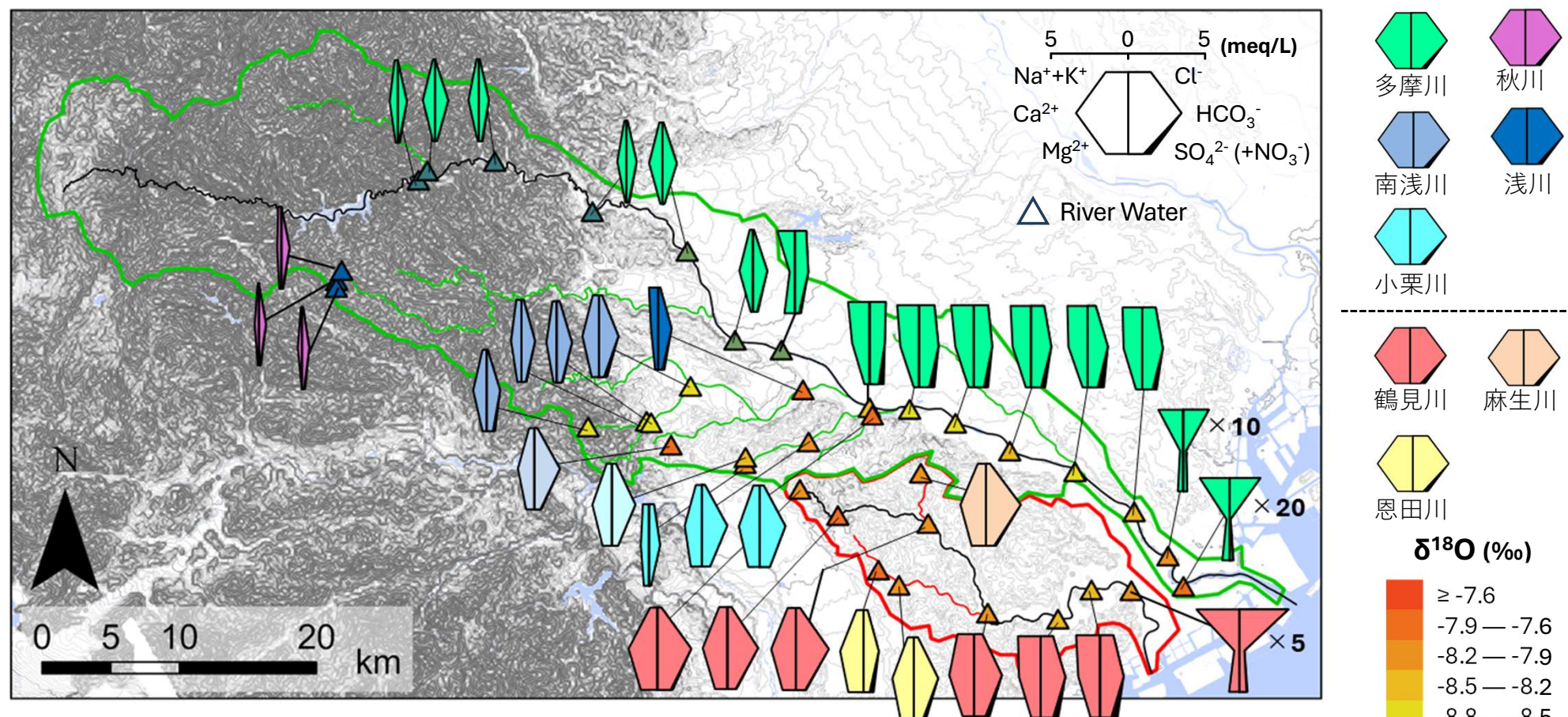
- 地下水調査結果に基づき、水理水頭およびトレーサーの三次元空間分布解析を行う。
- データの少ない地域を対象において、数値モデルによる計算結果により地下水の水理水頭データを補完する。
- 地下水の水理水頭における三次元空間分布を可視化する。
- 地下水の水理水頭分布に基づく地下水の流線を、三次元的に可視化する。特に、台地西部の多摩川からの涵養が想定される地域、台地中央部の水理水頭の顕著な低下がみられる地域、低地部について、任意の地点・深度・方向を指定した場合、その点を起点とする地下水の流線が可視化される。

地下水流動の三次元可視化のイメージ (ビル風の可視化事例を引用)



(ウェザーニュースによる <https://jp.weathernews.com/blog/article-2025082001/>)

南西部の河川水における無機溶存成分・安定同位体比の空間分布



特徴

- $\delta^{18}\text{O}$ は多摩川、秋川の上流において最も低く、標高が低くなるほど高くなる傾向を示す。ただし下流域において低下を示す部分もあり、地下水と河川水との関係を考慮しつつ今後解析が必要。
- 上流ではカルシウムと重炭酸濃度が卓越し、中流から下流においてナトリウムと重炭酸が卓越する傾向がみられる。最下流では、ナトリウムと塩素が顕著に高い。

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

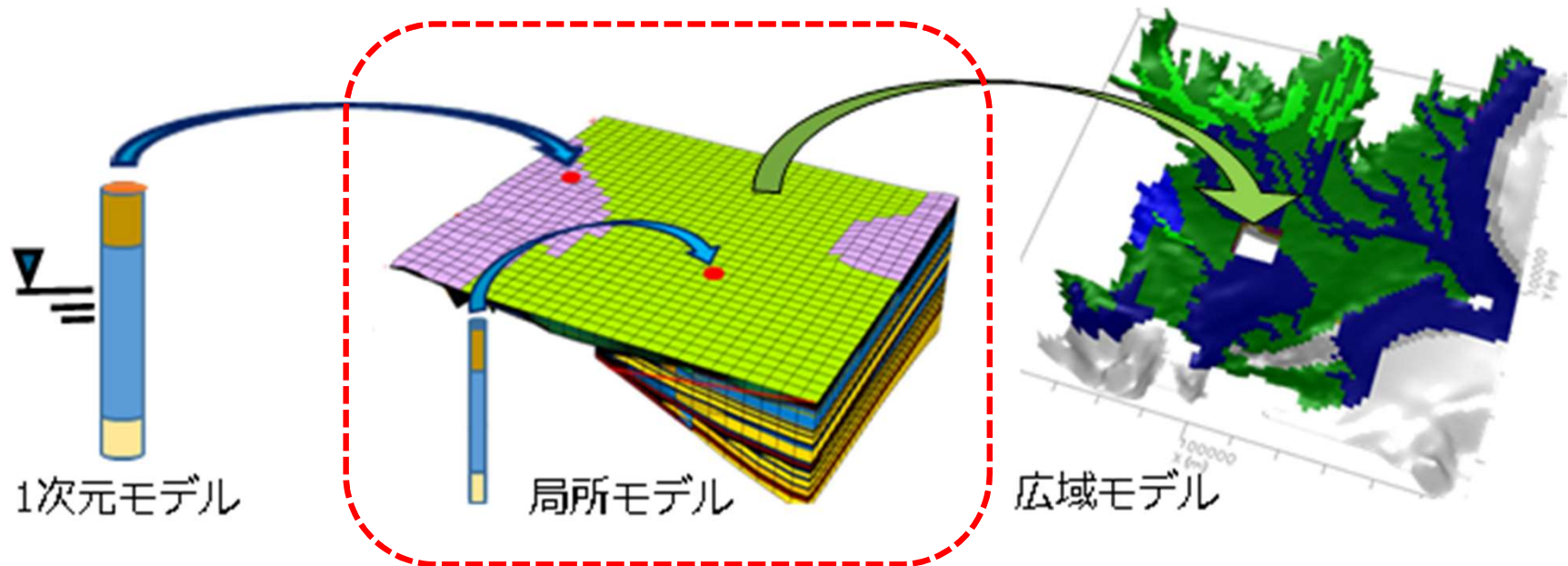
第2段階【現段階】

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

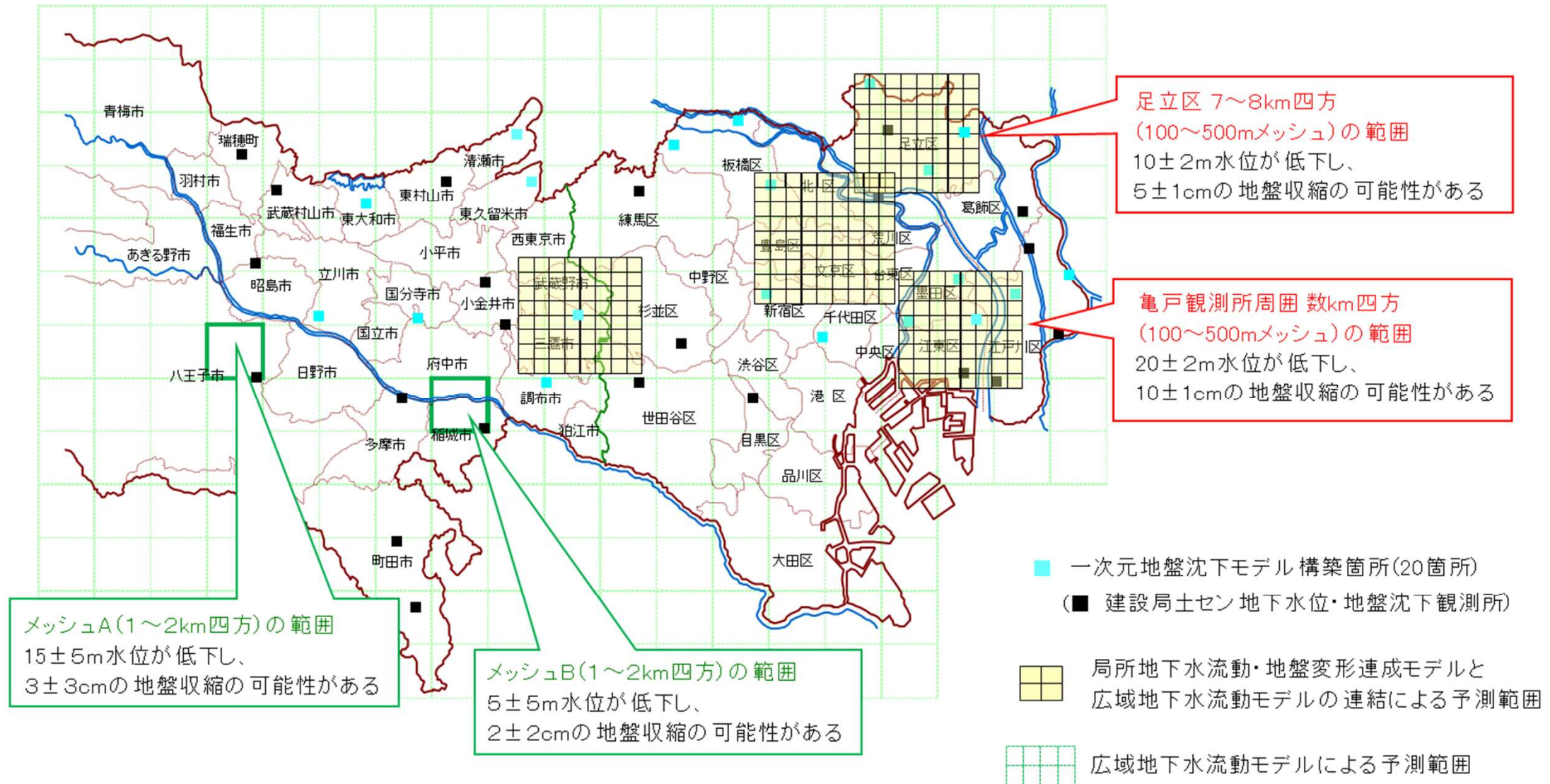
■シミュレーションモデル構築イメージ



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

■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

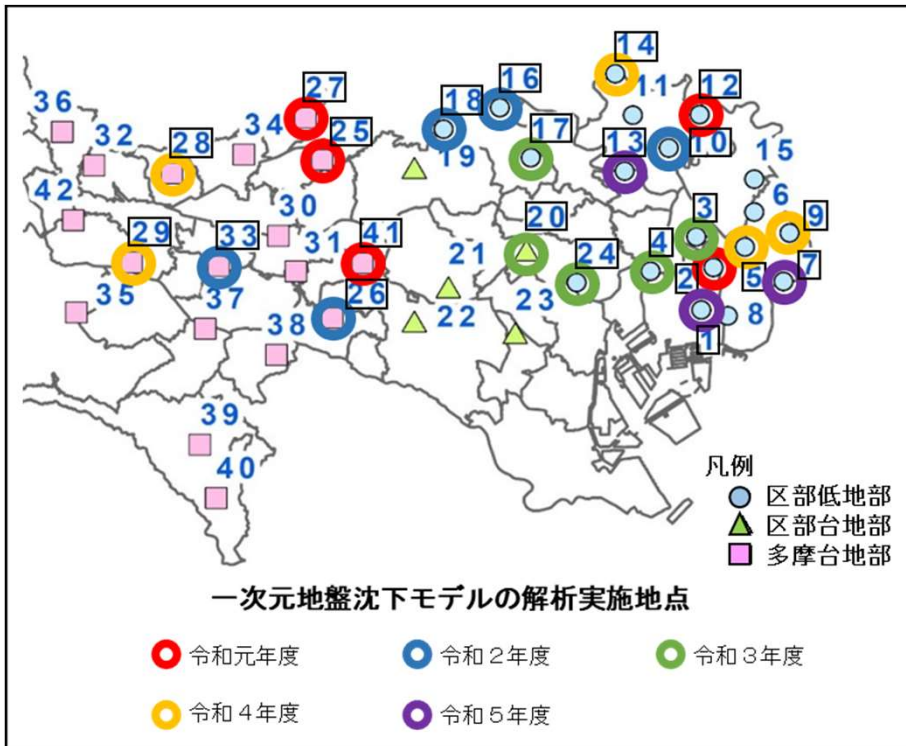


2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

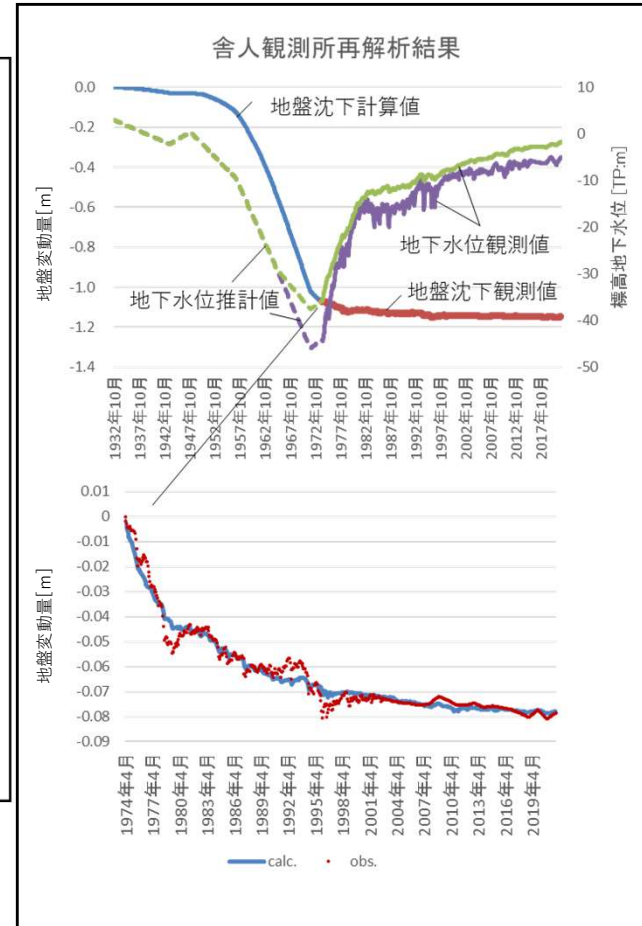
～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測

(1) これまでの成果 (～R6)

一次元地盤沈下モデル

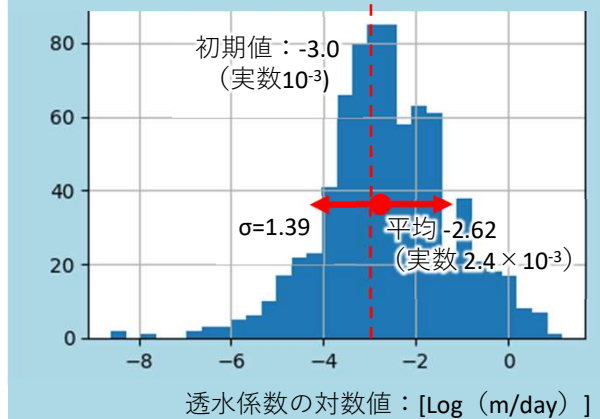


舎人観測所における解析結果

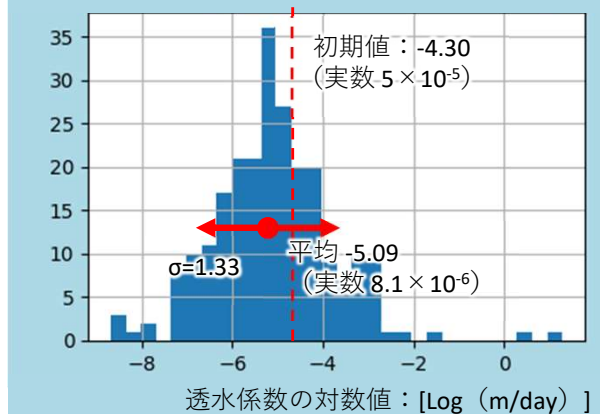


得られた地盤物性値の例

舎人層（砂）の透水係数の探索結果（頻度分布）



舎人層（粘土）の透水係数の探索結果（頻度分布）



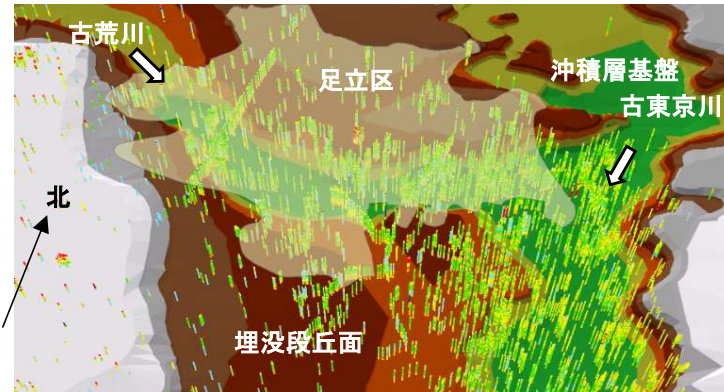
- ・ 観測井における一次元地盤沈下モデルを作成（深度方向 1 m 単位でモデル化）
 - ・ 地盤沈下と地下水位の実測値等から、地盤の詳細な物性値を探索（地盤物性値の逆解析）
 - ・ 計23地点で地盤変動量の再現を確認
- ➡ 得られた地盤物性値を局所モデルの初期条件として設定

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

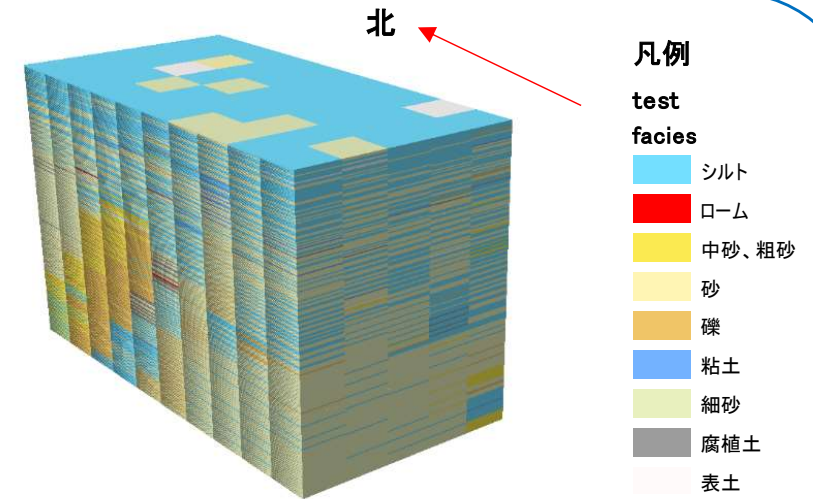
(1) これまでの成果 (～R6)

○足立区をケーススタディとした局所地質モデル構築



GISを用いて整理中のボーリングデータ

対象地域のボーリングデータから、沖積層と東京層群にわけて、砂→泥、砂→礫、…などの遷移確率計算を実施

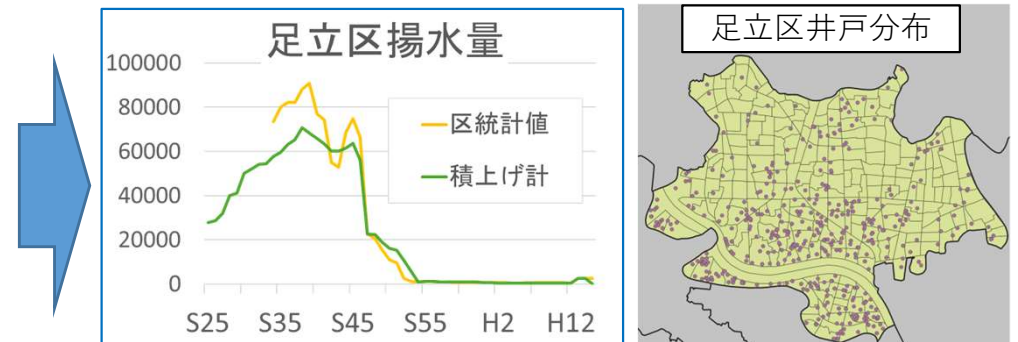


足立区水理地質モデルの生成例

遷移確率に基づき、各領域ごとに岩相分布を生成して組み合わせることで三次元帯水層/難透水層分布を生成

○揚水量分布の作成

- ・ 根拠と推定される資料等を収集し、井戸データを再現（欠測、データ散逸した年の揚水量は、前後の年から類推）
- ・ 個別井戸の揚水量の計(積上げ計)と区市町村ごとの統計値を突合
- ・ 井戸所在地の旧地名を可能な限り現在の地名に変換し、座標化することで地理的分布を再現



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

(2) R7 研究内容

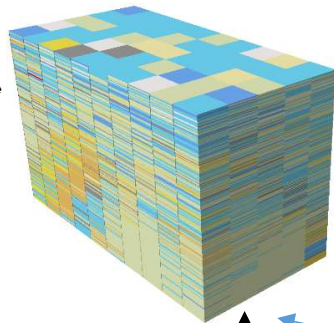
目的：足立区水理地質モデルのリアライゼーションを複数構築するとともに揚水量データを入力して試解析を実施

凡例

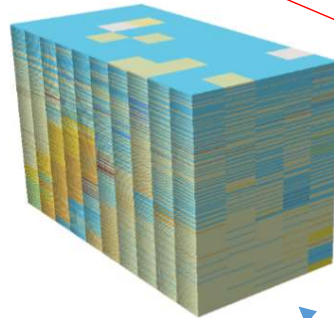
test
facies

シルト
ローム
中砂、粗砂
砂
礫
粘土
細砂
腐植土
表土

モデル1



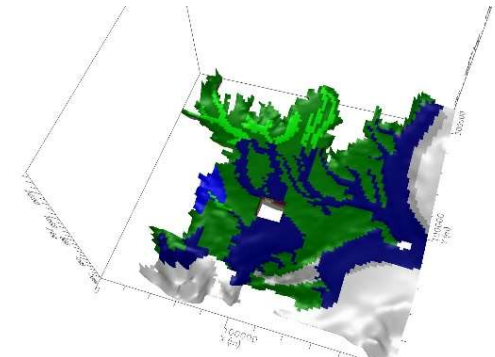
モデル20



北

×

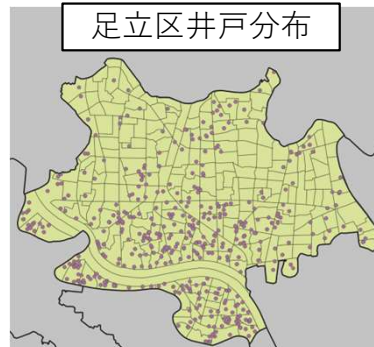
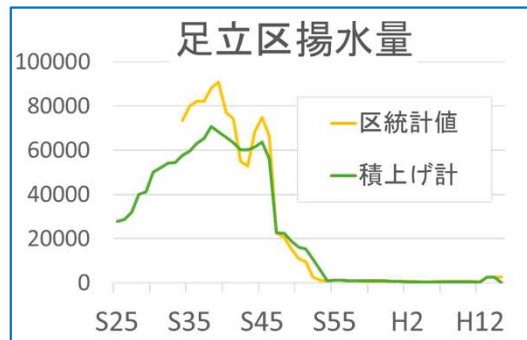
広域モデル



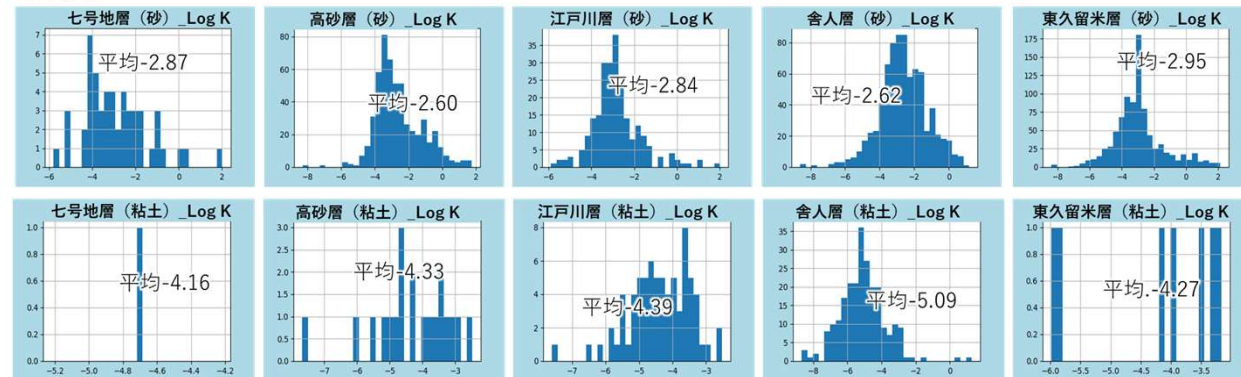
井戸の位置情報、ストレーナー深度情報
等を踏まえ各メッシュに揚水量を入力

地盤物性値探索時の初期値
および周辺分布設定

局所モデルとの境界条件
(水頭及び流量)を設定



透水係数



一次元解析から得た地盤物性値 (ヒストグラム)

- 地盤変動と地下水位の再現性が良くなるように、地盤物性値を変更しながら探索
 - ヒストグラムに基づき、確率が高い箇所から優先的に探索
- 効率的かつ確からしい値で収束する手法の確立を目指し、解析を実施

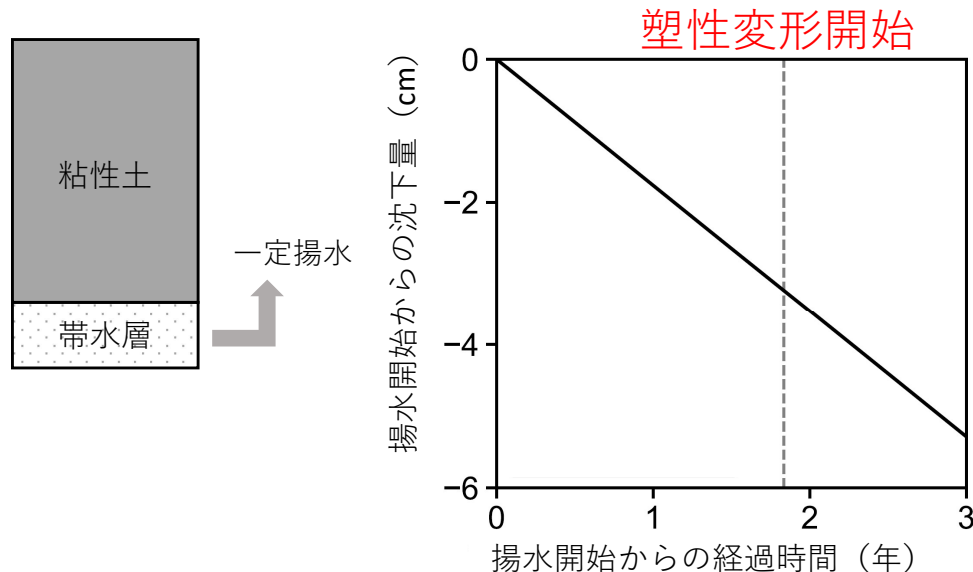
2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

～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

(2) R7 研究内容（塑性変形確率推定法の検証）

目的：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検討

地盤沈下モニタリングデータから、塑性変形移行の検知はどうすれば良いのか？



- 単純な地盤モデルで予察的解析したところ、塑性変形が始まっても変曲点などは明瞭でない。
- 1年以内に塑性変形の始まりを検知することは難しそう。

• モニタリングデータ分析方法の開発



- 判定法、必要な観測期間、検知してから揚水停止した場合の将来沈下量、...

• モニタリングデータ分析方法の検証

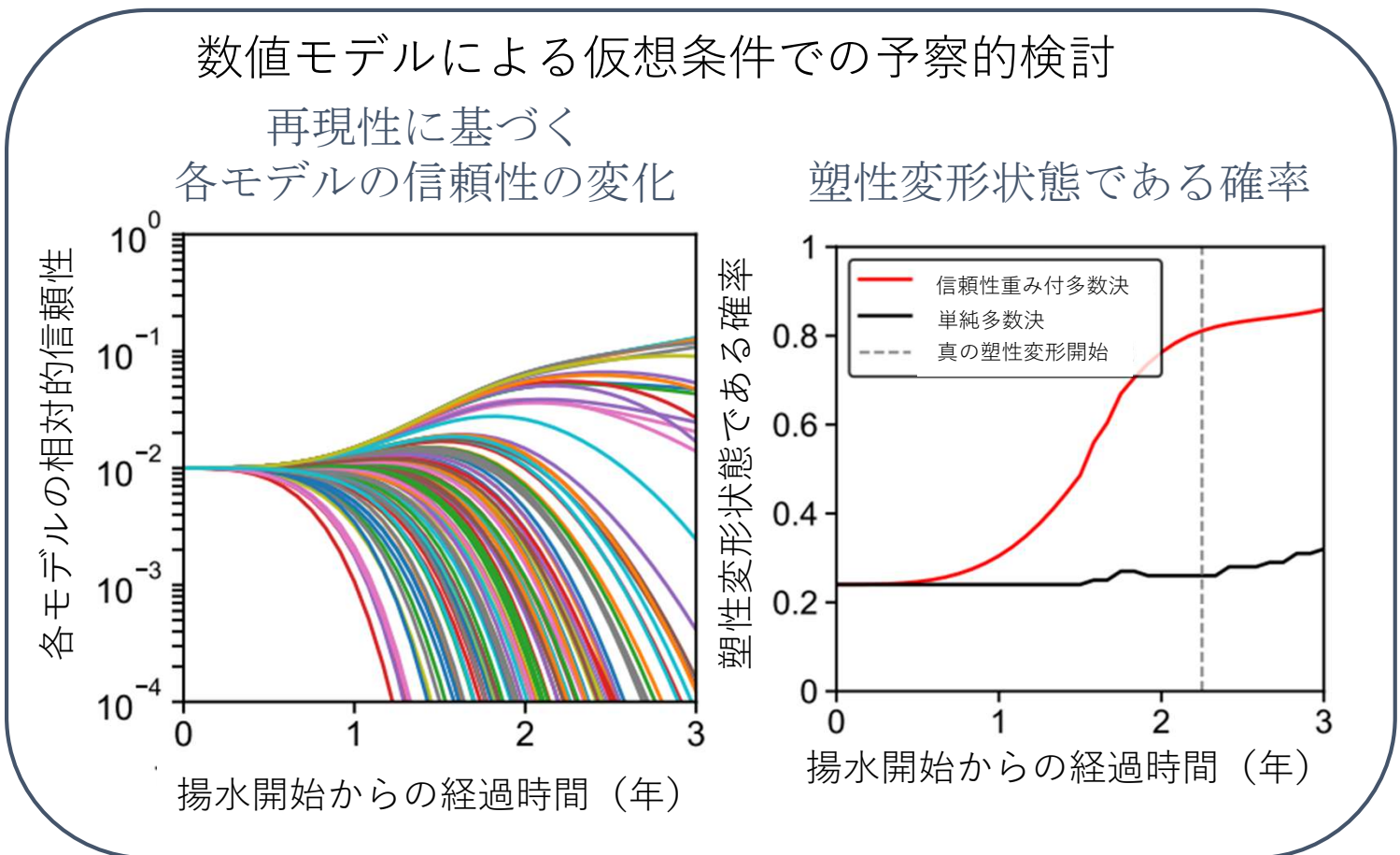
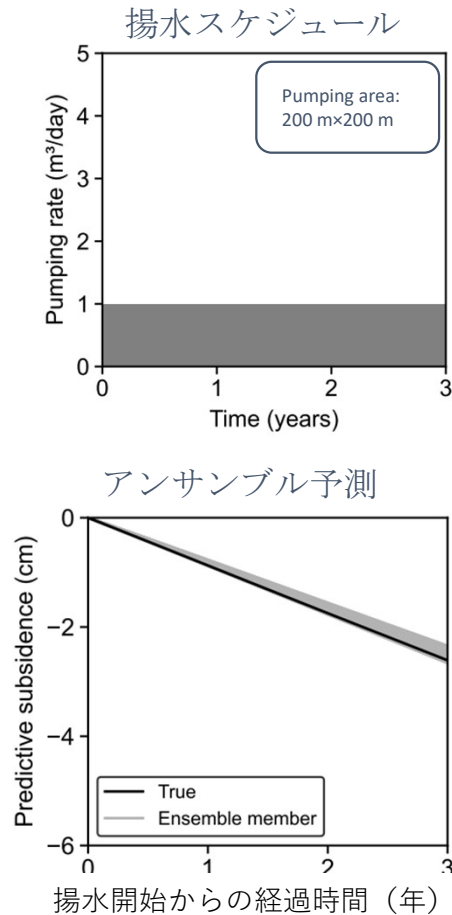
- 室内実験およびフィールドデータとの比較検証

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

(2) R7 研究内容（塑性変形確率推定法の検証）

不確実性評価用モデルアンサンブルを活用した推定の開発



再現性に基づく信頼性の重み付き多数決判定により、塑性変形開始直前に80%程度リスクに達していることが分かり、事前警告が実現できる可能性

2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》

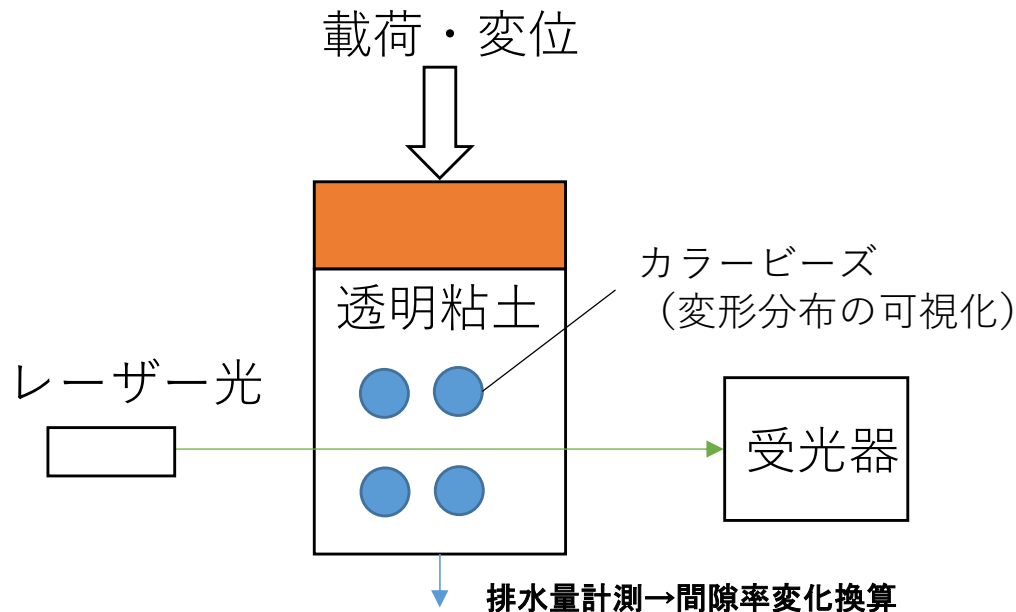
～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測

(2) R7 研究内容（塑性変形確率推定法の検証）

シミュレータで作成した“観測データ”に対しての判定は良くても、実観測データに対して判定できる保証はない（シミュレータの表現能力の限界がある可能性）

→透明粘土鉱物を用いた室内実験により、内部の弾塑性状態を可視化したデータとの比較検証ができないか？

透明粘土鉱物（ラポナイト®）の弾塑性状態と光学特性変化（密度変化→屈折率変化）が未解明



※シュリーレン法

気体の屈折率分布から密度分布を計測する手法で、きわめて微小な屈折率変化や光路長変化を計測可能

これを適用することで、弾塑性状態と屈折率の関係を解明することを目指す

→R7は光学実験系の設計と組み立てを実施