地下水の実態把握の取組について

資料１

➢ 各調査研究の実施状況等

	調査研究	実施状況等（Ｒ８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 ・Ｒ７年度は、Ｒ６年度までの調査を踏まえ、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、**91地点の調査及び解析を実施** ○ 都内地下水流動の三次元可視化 ・共同研究の地下水調査結果及び地下水流動三次元数値モデルによる解析結果に基づき、**都内の地下水流動に関する三次元可視化を試行**
	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** ・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、再現性を確認中 ○ 塑性変形確率推定法の検証 ・**光学実験系の設計と組み立てを実施** ・次年度から本格的に実験を開始予定

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

<u>第１段階　被圧地下水の広域流動の概況把握</u>

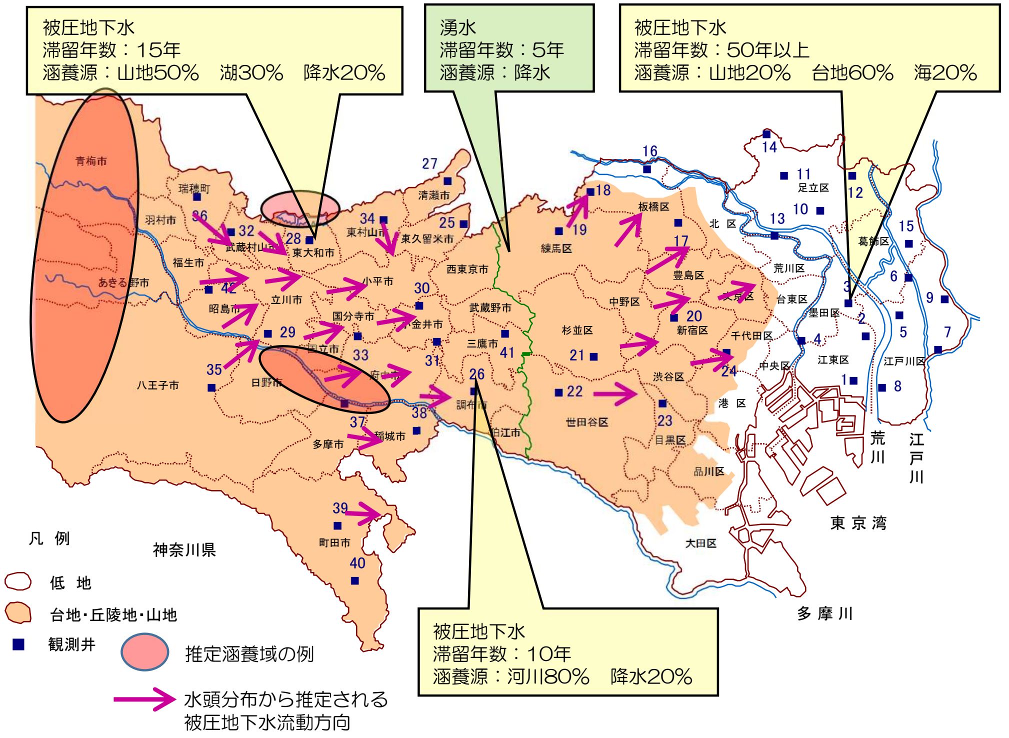
・建設局の地下水位観測井（都内39地点83井）から採水、各種トレーサー分析を行い、水理水頭の空間分布と統合・解析し、地下水の流動方向、滞留時間等の概況を把握する。

<u>**第２段階　地下水と地表水との交流に関する概況把握（現在）**</u>

・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　③SF_6：1970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》

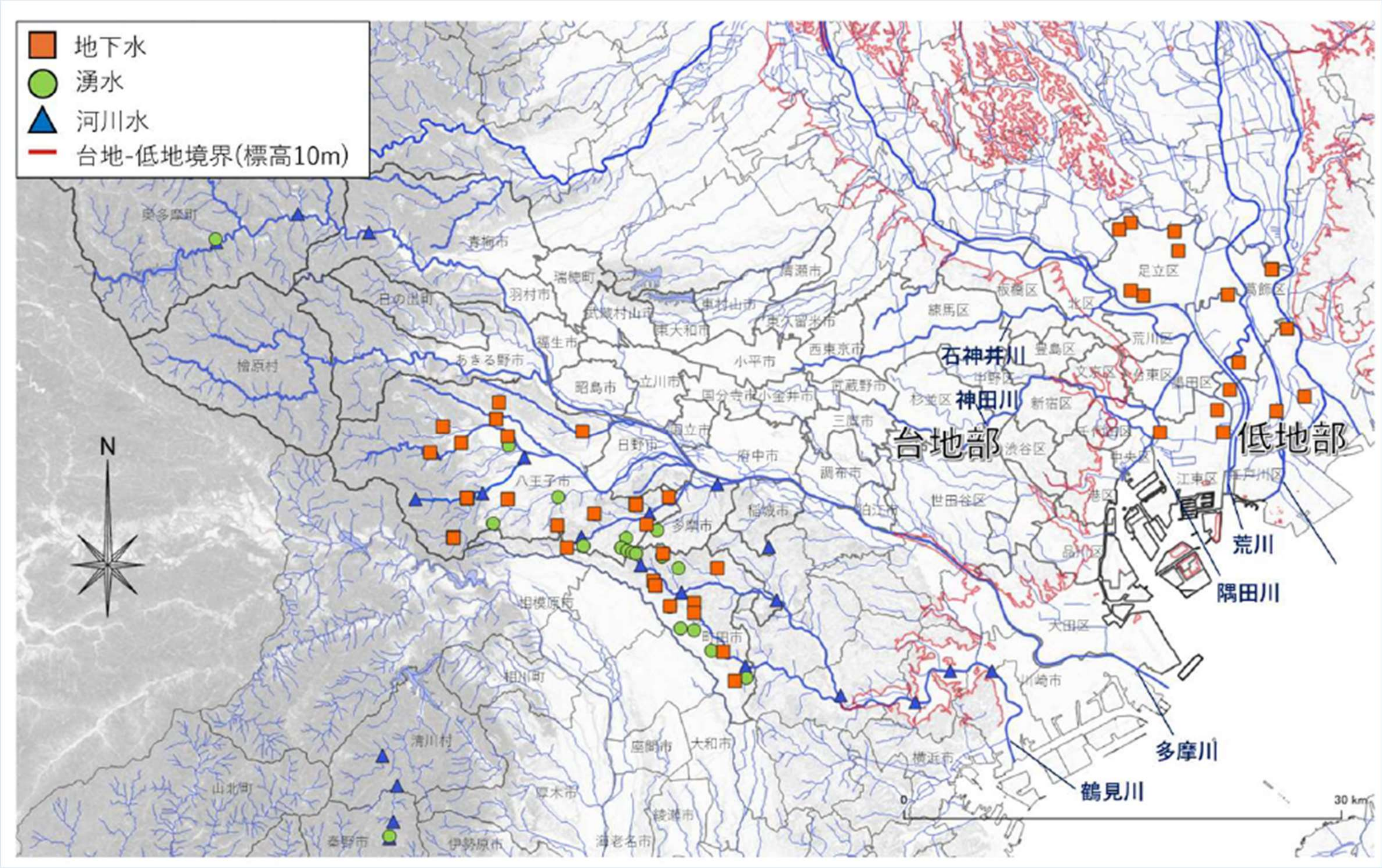


１　地下水流動系の解明　　《筑波大学との共同研究》
　～東京の地下水における涵養－流動－流出のプロセスの解明～
（１）Ｒ７研究内容

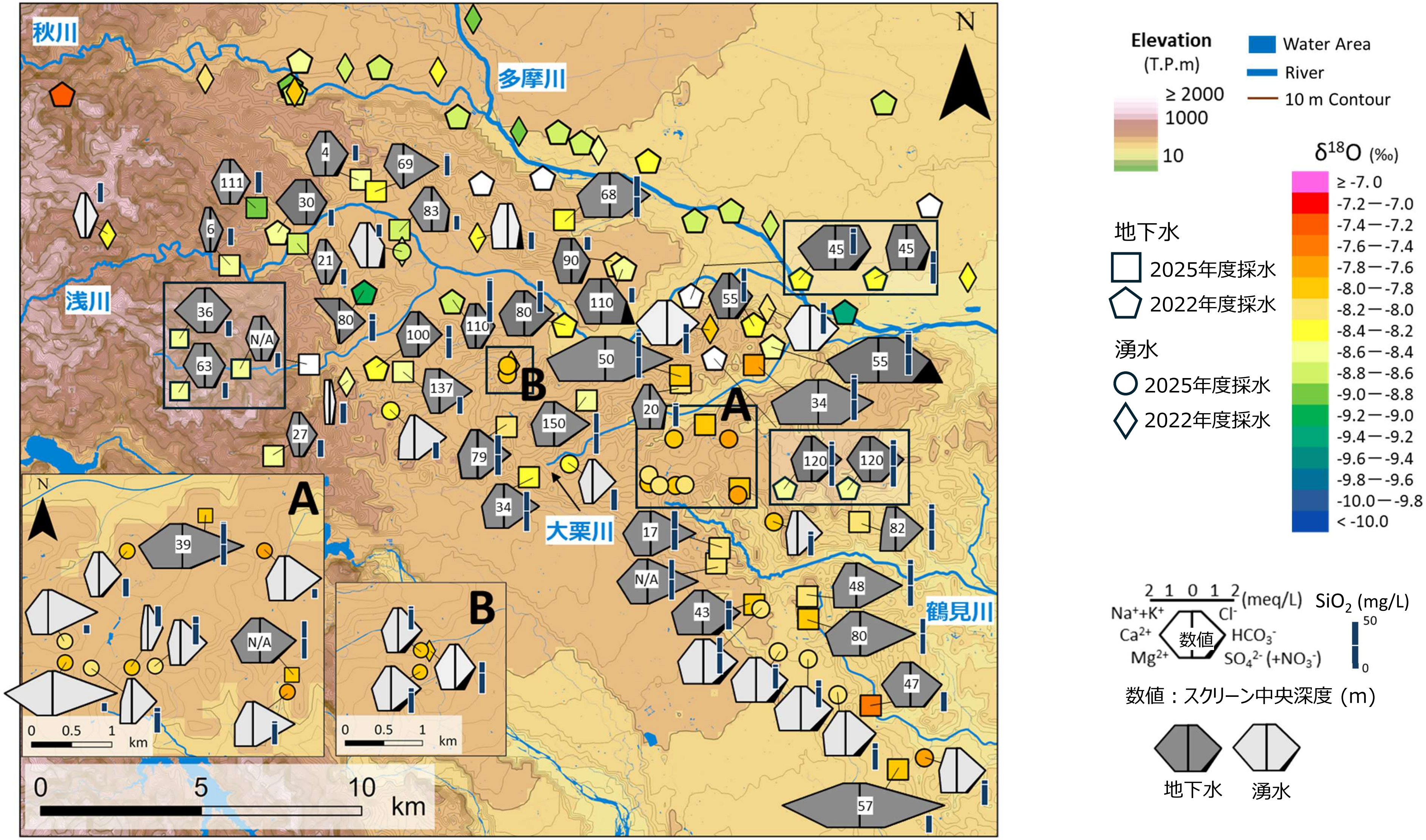
＜**目的**＞都内全域の地下水流動系を明らかにする目的の中で、これまでの調査でデータが不足している地域を中心として、南西側山地から台地への移行域及び低地から北東への地下水流動の解明を目的に、調査及び解析を実施

＜**調査地点**＞

対象	地域		地点数
河川水	南浅川	八王子市	3
	北浅川	八王子市	1
	大栗川	八王子市 多摩市	4
	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 渓流	秦野市 清川村	4
湧水	多摩丘陵 及び周辺	八王子市 町田市 多摩市	18
	その他	奥多摩町	1
		秦野市	1
地下水	多摩 台地部	八王子市	19
		町田市	10
	区部 低地部	足立区	8
		葛飾区	4
		江東区	3
		江戸川区	3
合計			91

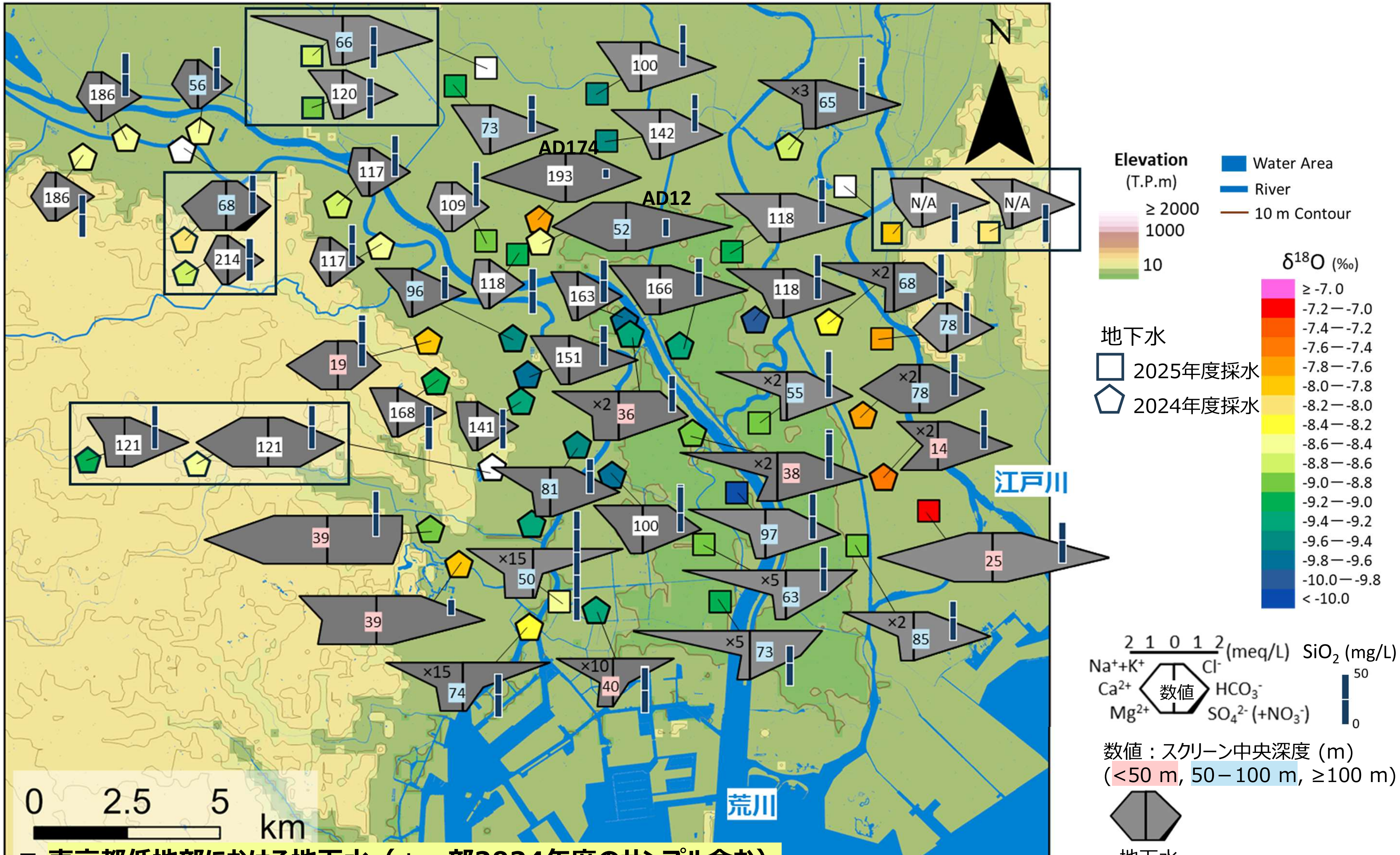


（２－１）Ｒ７調査結果：多摩川右岸地域の地下水・湧水における同位体・溶存成分組成



- ✓ 多摩川右岸地域の地下水・湧水は、カルシウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向がある。この特徴は多摩川左岸台地部における地下水・湧水のそれと類似しており、両者に質的な連続性が認められる。
- ✓ 上流域の地下水・湧水における酸素同位体比は、下流域のそれに比較し低い傾向がある。この特徴は河川水におけるそれと類似しており、両者に質的な連続性が認められる。

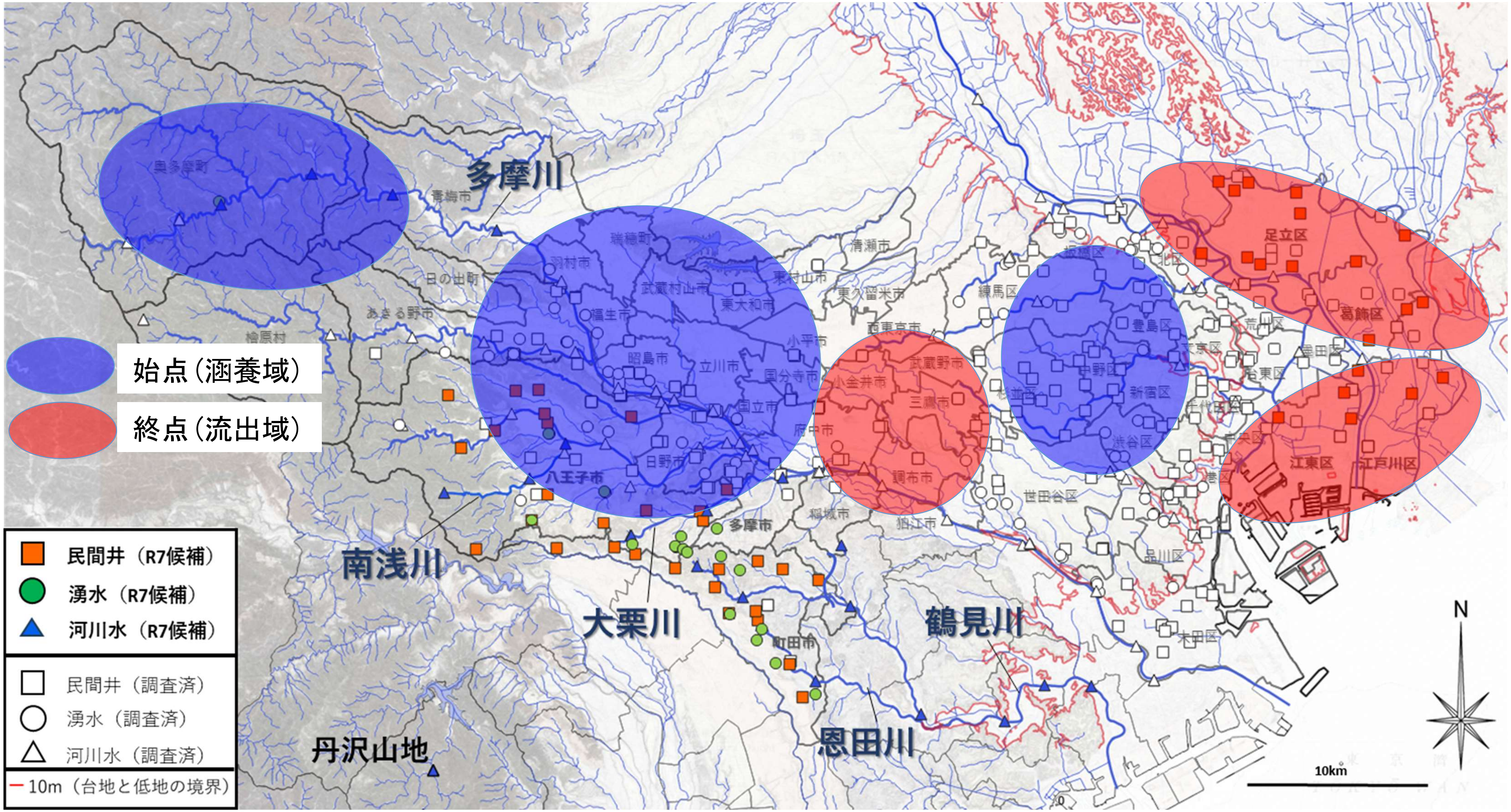
（２－２）Ｒ７調査結果：東京都低地部の地下水における同位体・溶存成分組成



■ 東京都低地部における地下水（＊一部2024年度のサンプル含む）

- ✓ 荒川沿いの上流においてはカルシウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向を示すが、中流においてはナトリウム濃度が、また下流においてはナトリウムと塩素濃度が高い傾向を示す。
- ✓ 江戸川沿いにおいてはナトリウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向を示すが、一部カルシウム濃度が高いものがみられる。
- ✓ 荒川下流沿いにおける酸素同位体比は江戸川沿いのそれに比較し、顕著に低い傾向を示す。

（３） Ｒ７研究（都内地下水流動の三次元可視化）



✓ 地下水の涵養域である山地から流出域である低地までを対象地域に、上記のような任意の領域を地下水流動の始点（主な涵養域：青の領域）と、終点（主な流出域：赤の領域）とし、各々において地下水流動を3次元的に（様々な角度から見られるように）可視化することを目的に作業を進めている。

（４）Ｒ７研究結果まとめ

- ✓ 多摩川右岸地域の地下水・湧水は、カルシウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向がある。この特徴は多摩川左岸台地部における地下水・湧水のそれと類似しており、両者に質的な連続性が認められる。
- ✓ 上流域の地下水・湧水における酸素同位体比は、下流域のそれに比較し低い傾向がある。この特徴は河川水におけるそれと類似しており、両者に質的な連続性が認められる。
- ✓ 基盤地質条件を考慮すれば、多摩川右岸から左岸（南西から北東）に向かう地下水流動の存在を想定することは、一定の合理性が認められる。ただし、従前のデータも含め更なる検証が必要である。
- ✓ 荒川沿いの上流においてはカルシウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向を示すが、中流においてはナトリウム濃度が、また下流においてはナトリウムと塩素濃度が高い傾向を示す。
- ✓ 江戸川沿いにおいてはナトリウムと重炭酸濃度が他のイオンに比較し高い傾向を示すが、一部カルシウム濃度が高いものがみられる。
- ✓ 荒川下流沿いにおける酸素同位体比は江戸川沿いのそれに比較し、顕著に低い傾向を示す。
- ✓ 荒川下流沿いにおけるナトリウムおよび塩素濃度が高く酸素同位体比が低い地下水に関し、その起源を評価するためには、他のデータも含めより詳細な検討が必要である。

（５）今後の展開

- ✓ 三次元可視化の結果を受け、これまでのデータから得られた結果との整合性の検討や、地下水の起源に関するさらなる評価・検討が必要である。
- ✓ 地下水流動における涵養域の評価を含め、低地部における高塩素イオン濃度の起源の解明に向けたさらなる評価・検討が必要である。
- ✓ 都境を超えた南西から北東への流動の解明のため、埼玉県観測井の調査を実施予定である。また、山地から低地への地下水流動を評価するため、より多くの山地における湧水等のデータ採取について調査を検討中である。

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）

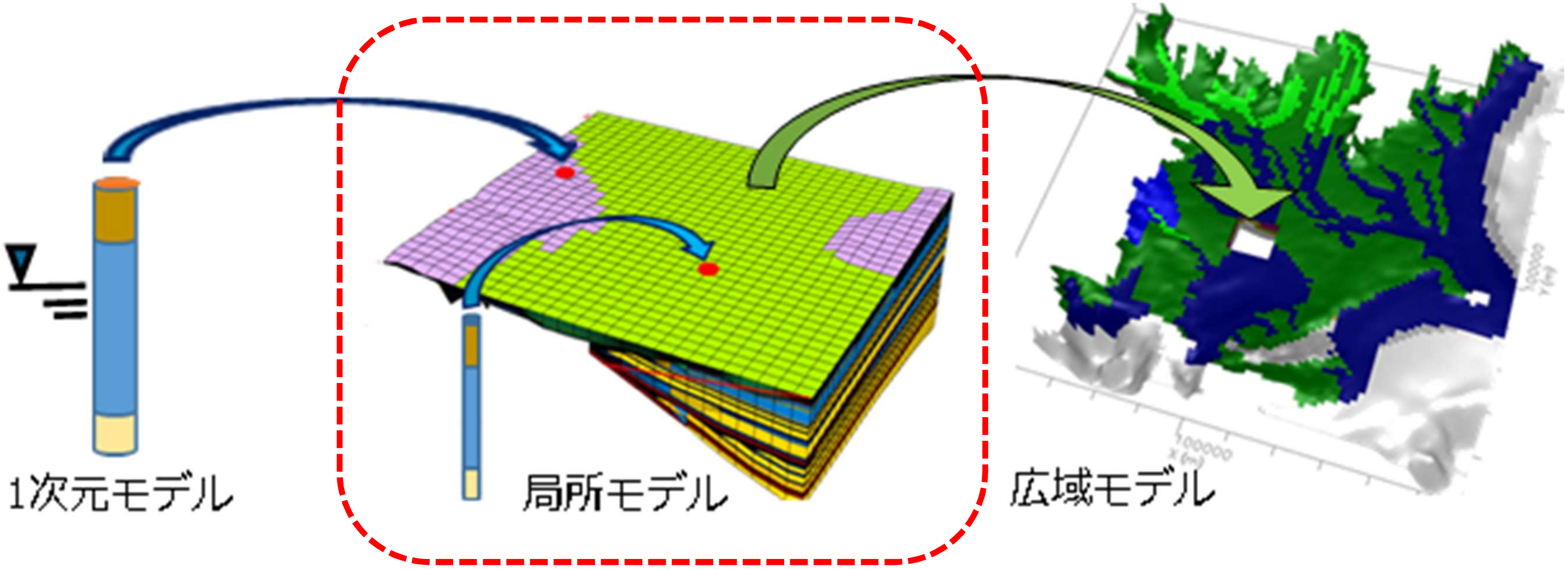
■展開方法

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

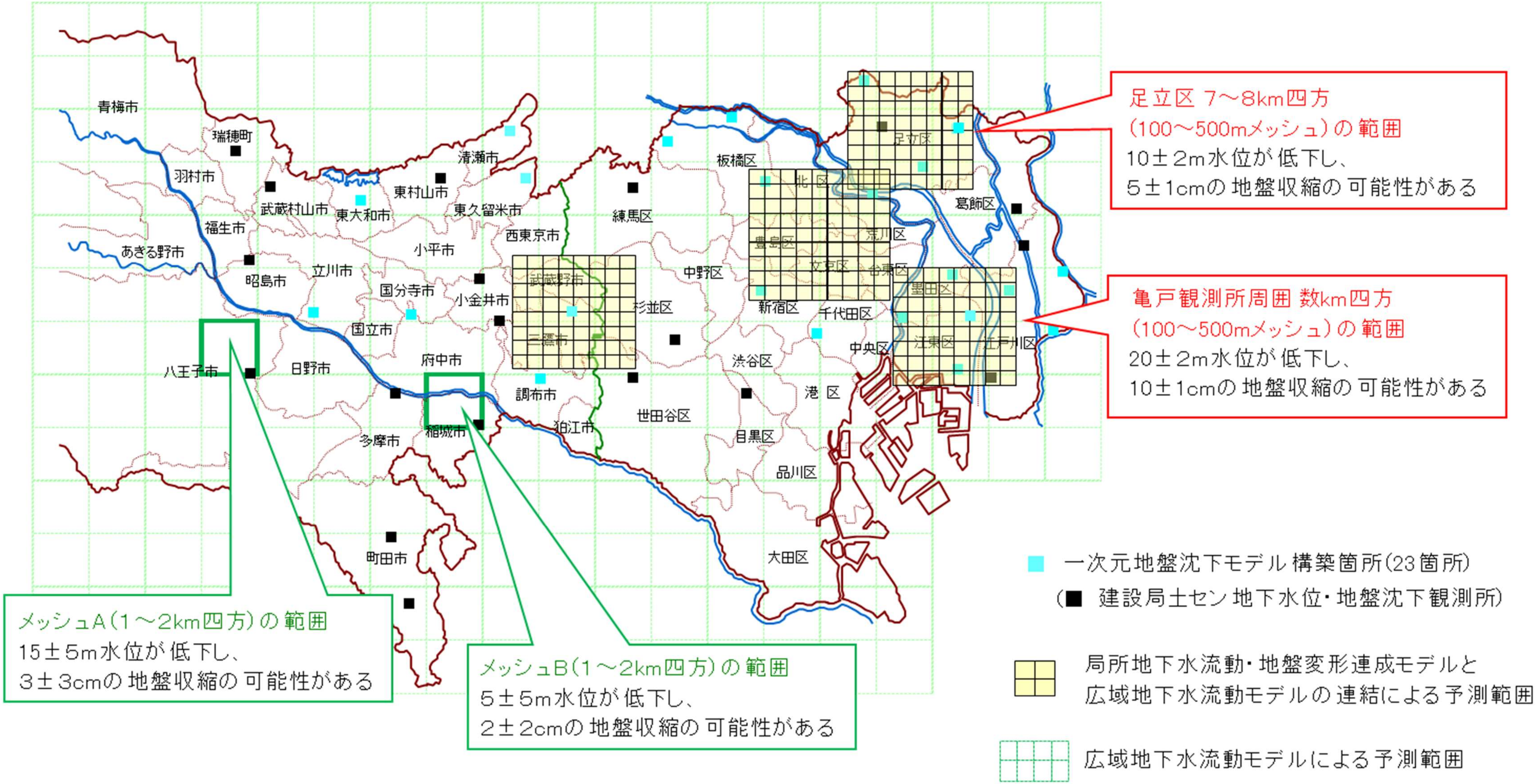
■シミュレーションモデル構築イメージ



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

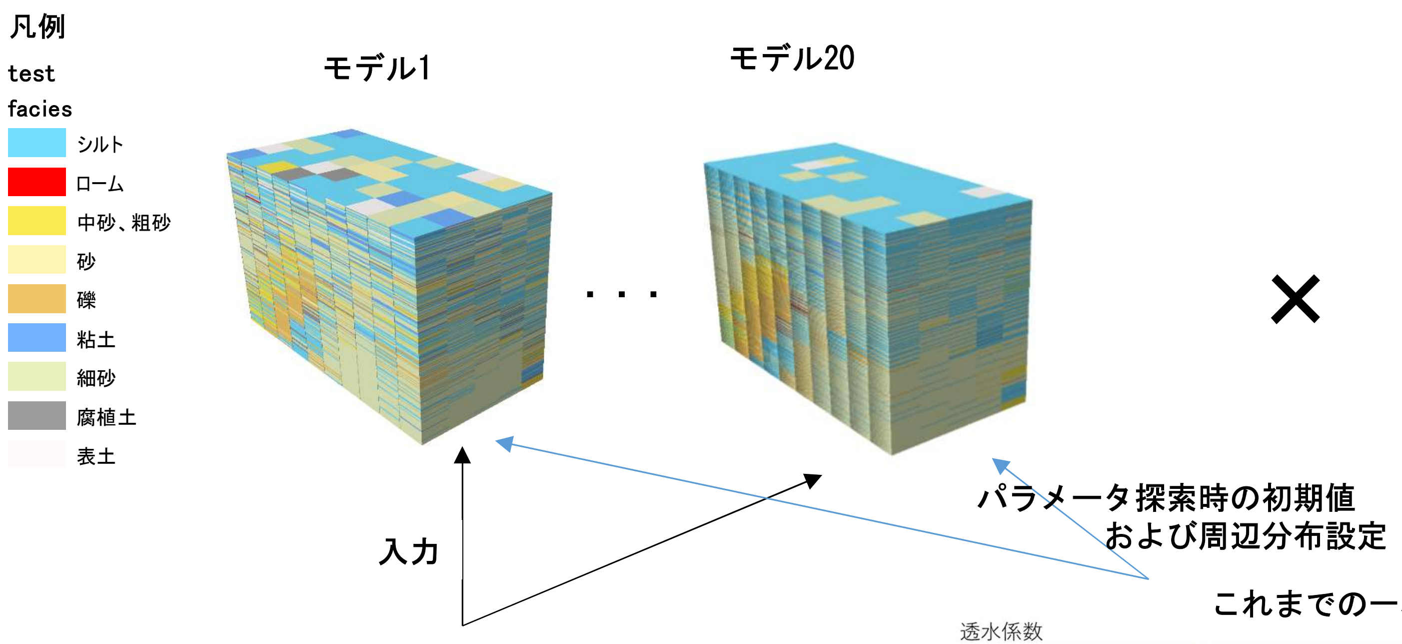
■シミュレーション結果イメージ

想定：都内の揚水量が●●年の△倍に増加した場合

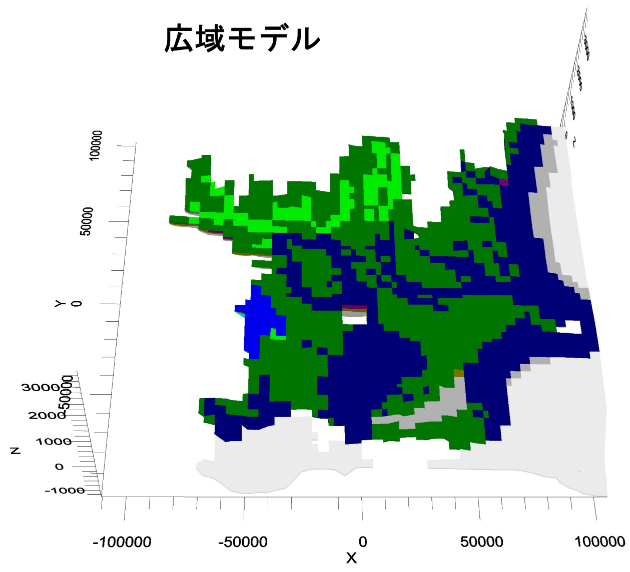


２　地下水の揚水等の影響予測　《東京大学との共同研究》
　～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測
（２）Ｒ７研究内容（モデルの構築）

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

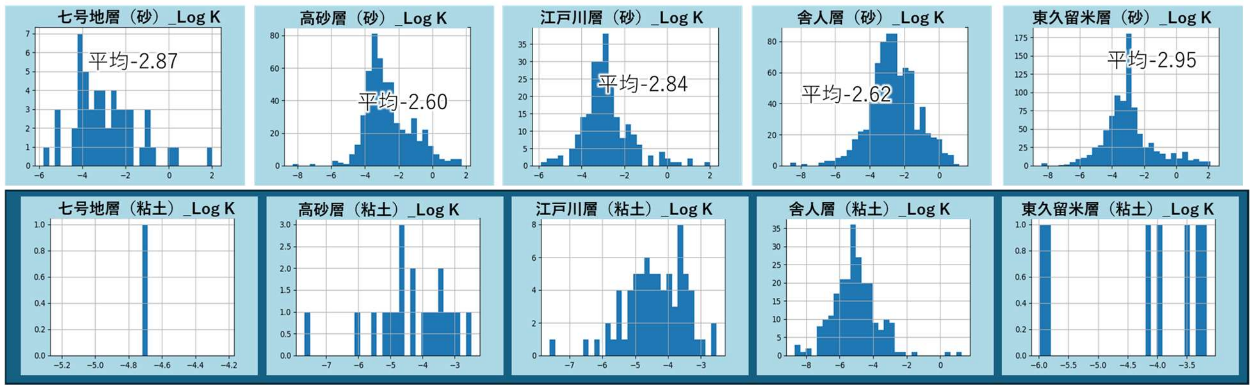


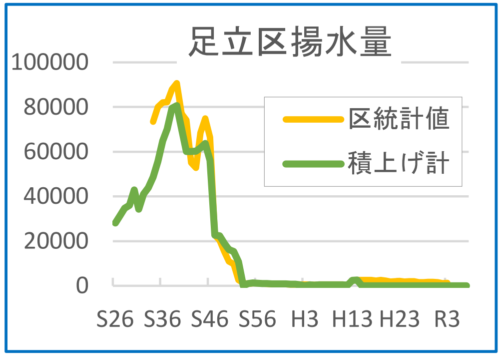
×

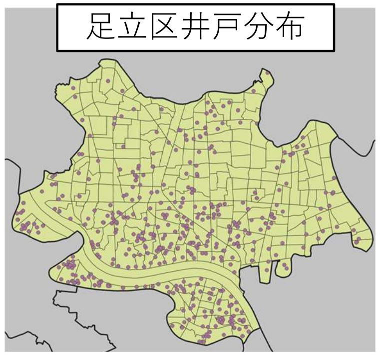


これまでの一次元解析から得た地盤物性値

透水係数

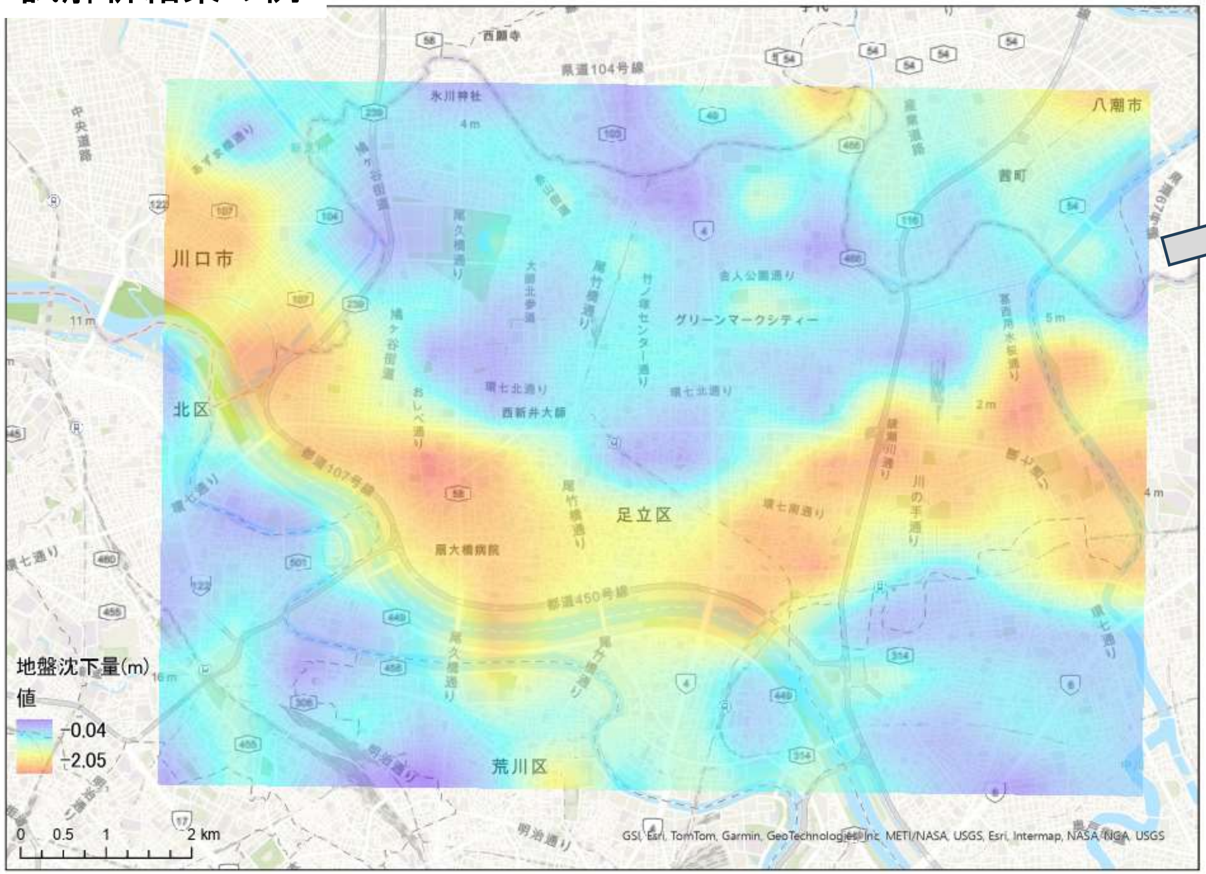


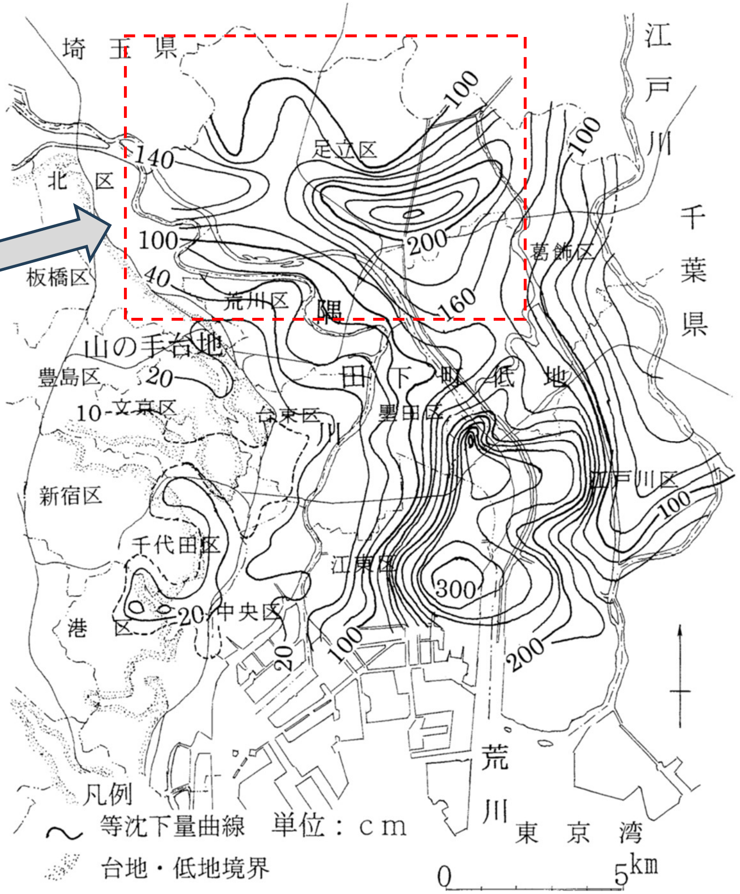




2 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》
～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測
（２） Ｒ７研究内容（モデルの構築）

試解析結果の例





1938-1977の地盤変動量（遠藤ほか，2001）

- 最大沈下量のオーダー感や埋没谷で沈下量が大きい傾向は計算できてきた
- 埋没段丘上の沈下量は合っていない
- ムラが目立つ（井戸配置・地質モデルの確率的生成の影響か）
- 井戸枯れによる収束不能などの問題があり、まだ20個生成はできていない
- 今後、キャリブレーションを行って精度を向上していく予定

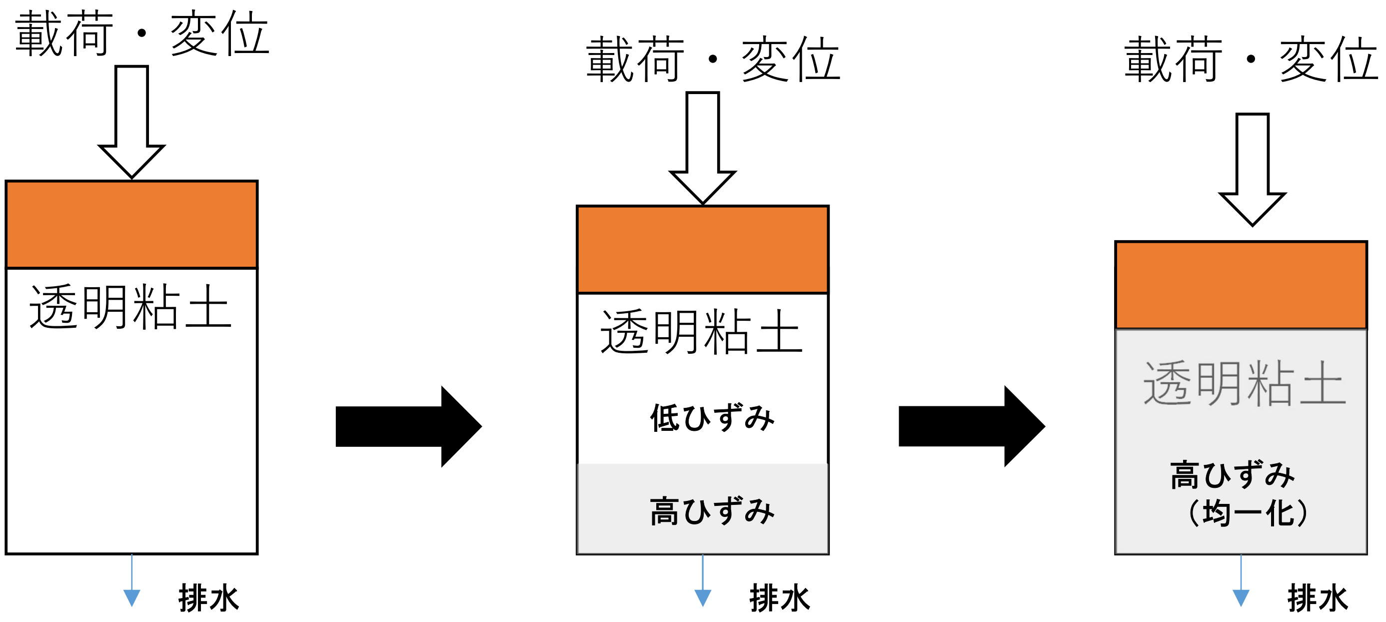
２ 地下水の揚水等の影響予測 《東京大学との共同研究》
　～地盤沈下や湧水に影響が生じる地下水位とその水位に達する揚水量の予測
（２） Ｒ７研究内容（塑性変形確率推定法の検証）

目的：室内実験による塑性変形確率推定法の検証に資するため、透明粘土鉱物のひずみ分布を光学的に高精度に可視化する方法論を構築

透明粘土鉱物（ラポナイト®）のひずみ分布の可視化技術の検討

仮説：ひずみ→密度変化→屈折率変化により、光学的にひずみ分布を可視化できないか？

室内実験におけるひずみの進展イメージ



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

（２） Ｒ７研究内容（塑性変形確率推定法の検証）

ひずみ－屈折率関係式

$$\therefore n = \sqrt{\frac{1+\varepsilon+2u}{1+\varepsilon-u}}$$

$$u = \frac{n_0^2-1}{n_0^2+2} \sim 0.20592$$

n:変形後の屈折率

ε:体積ひずみ

n_0:元の屈折率~1.3334
(透明土=水の屈折率)

⇨

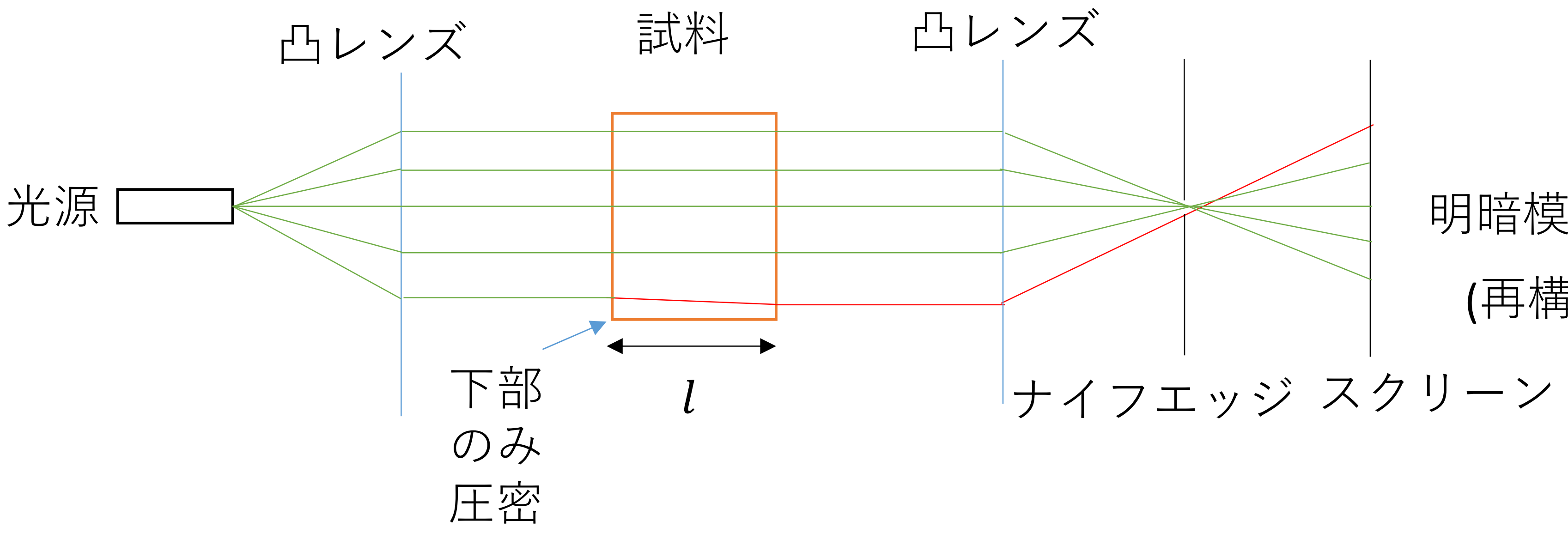
ひずみ－屈折率変化量

ε	$\lvert n-n_0 \rvert$
10^{-6}	3.674×10^{-7}
10^{-5}	3.674×10^{-6}
10^{-4}	3.674×10^{-5}

1. 現実の地層では、1mの水頭変化で$\varepsilon \geq \sim 10^{-5}$オーダー
2. 今回の検証用の弾塑性実験では、弾性変形も塑性変形も両方観測する必要がある
3. 求められるひずみの解像度としては、10^{-5}～10^{-6}オーダーが目標

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）

シュリーレン法（当初検討）



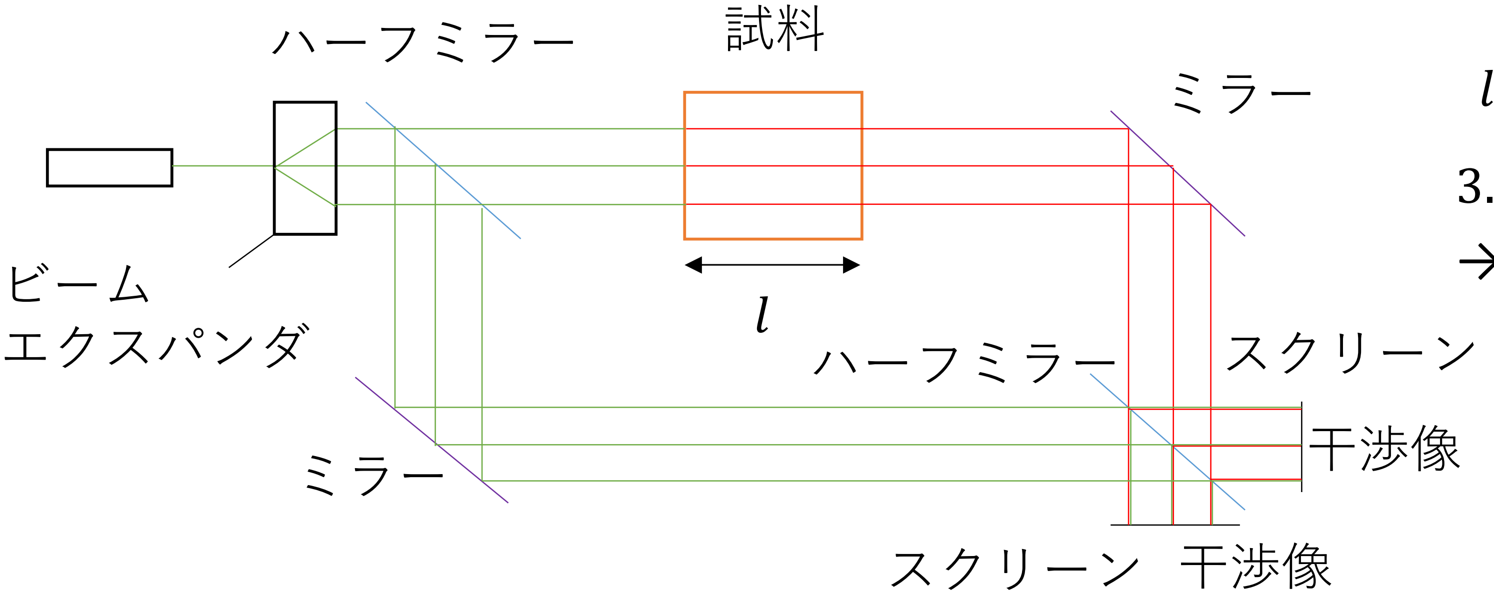
明暗模様→密度分布
(再構成計算は複雑)

気流の可視化などに使われており高精度とされているが、文献調査によると、屈折率変化 $|n - n_0|$ の解像度は、最近の研究で10^{-5}オーダー（Ohno and Toya, 2019）（像の鮮明さに依存）
→ひずみで10^{-4}オーダーの差がないと難しい
明暗模様は密度勾配分布を表しており、ここから密度分布に換算する再構成計算が非常に複雑

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）

マッハ－ツェンダー干渉計法（新たに検討）

グリーンレーザーの波長
λ～5.2 × 10^{-7}m



l =10cm, ε =10^{-5} のとき

3.674×10^{-7}m>$\frac{1}{2}\lambda$の光路長差
→十分に照度が変化する

試料がないとき、反射回数の偶奇と光路長が一致する光学系
試料の存在により、光路長が変化して明暗の干渉像が生じる
一般的には$\frac{1}{20}\lambda$程度の解像度で干渉による明暗を観測可能のため、ε~10^{-6} オーダーの変形も評価できる可能性がある
試料の変形に伴って生じる照度の空間分布の時間変化を評価することにより、ひずみ分布の時間変化を容易に再構成可能