

「持続可能な地下水の保全と利用（地下水・地盤沈下検証報告書）」の概要

都は、令和3年度の東京都地下水対策検討委員会において、地下水位と地盤沈下の状況及び地下水の実態把握に向けた調査研究の進捗と成果について検証し、報告書にまとめました。また、将来的に目指す地下水ガバナンスのイメージを整理しました。

1 地下水位と地盤沈下の状況等に関する検証結果

(報告書 10-1 P118)

(1) 東京の地下水位と地盤沈下の状況

都内では地下水位は全体として上昇傾向だが、上昇幅は小さくなっている。地盤沈下も落ち着いているが、区部低地部においては沖積層を主体とする浅層は現在も収縮し続けていることが分かった。

(2) 地下水の実態把握に向けた調査研究

ア 地下水流動系の解明【参考資料 1 テーマ1】

地下水の涵養源や流動経路、滞留時間の解明に向けた研究を行っている。

多摩の一部地域では、浅層部と深層部の地下水の交流など地下水の複雑な流れが存在することを示唆するデータが得られた。また、多摩台地部と区部低地部では、地下水の涵養源が異なることを示唆する結果も得られたが、今後更にデータを蓄積する必要がある。

イ 地下水の揚水等の影響予測【参考資料 1 テーマ2】

どこでどのくらい揚水すると、どこに地盤に影響が生じるかを予測する、信頼度の高いシミュレーションモデルの構築を目指した研究を行っている。

現在は、地盤沈下リスクを丁寧に評価すべき地域について、逆解析による地盤情報の推定を行い、一次元地盤沈下モデルを作成した。その結果、区部低地部の調査地点における地盤内の間隙水圧の状況の推定から、大幅な地下水の低下があると地盤沈下が再開する余地があることが示唆された。

(3) 考察

現在の地下水と地盤沈下の状況及び実態把握の進捗状況を踏まえると、現行規制を継続しつつ、学術機関と連携して地下水の実態をより正確に把握していくための科学的知見などのデータを収集、蓄積し、時間をかけて丁寧な検証に取り組んでいくことが重要である。

2 持続可能な地下水の保全と利用の実現に向けて

(報告書 10-2 P119)

(1) 地下水実態把握の推進

東京の地下水についてはまだ未解明な点が多いのが現状であり、地下水の実態把握に向けた調査研究については、引き続き、学術機関と連携しながら地域特性や広域性（帯水層の面的な広がり）を踏まえながら実施していく。

(2) 地下水ガバナンス^{*}へ向けて【参考資料 2】

持続可能な地下水の保全と利用に向けては、地下水を利用する立場や地下水揚水によって影響を受ける可能性のある立場、地下水を保全する立場など、多様なステークホルダー（住民、事業者、団体、行政など）が存在し、これらの主体間における対話や合意形成が重要となるため、地下水ガバナンスへの取組に向けたイメージを整理した。

^{*}地下水ガバナンス 幅広い関係者（ステークホルダー）が相互に協力しながら地下水の統治を行う仕組みのこと

1. 地下水の実態把握に向けた調査研究（概要）

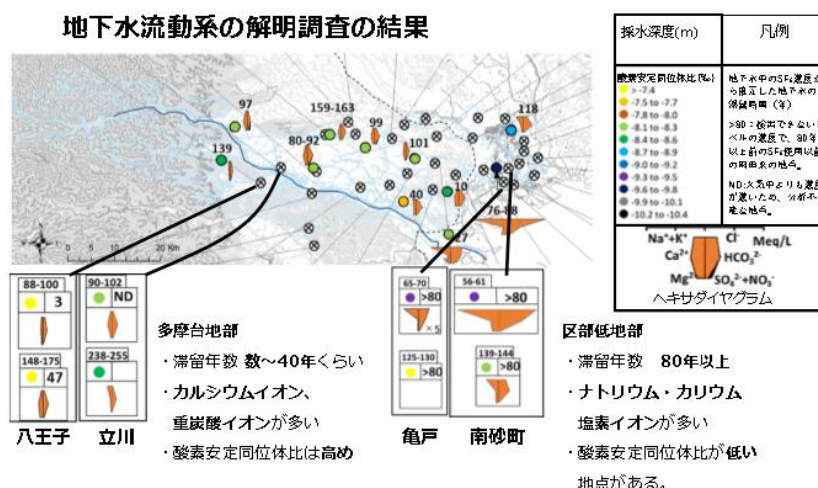
【テーマ1】地下水流動系の解明（報告書9-2 P100, レポート第4章 P36）

地下水が、どこでしみ込み（涵養源）、どのくらいの時間をかけて（滞留時間）、どこを流れているか（流動経路）を解明する。

地下水の見た目は、涵養源や流れの経路が異なっても、大きくは変わりません。しかし、化学の目で見ると含まれる成分が異なりその違いを区別することができます。このように、地下水の履歴（どこからしみ込み、どのくらいの時間をかけて、どこを流れているか）を表す成分のことを、専門用語では“トレーサー”とよびます。“空間の情報”を表すトレーサーとして地下水に溶けているイオンや水素・酸素安定同位体比というものをを用いて、“どこに”起源があり、“どこを通過して”流れてきたかを、また、“時間の情報”を表すトレーサーとして、主にSF₆（六フッ化硫黄）を用いて“どの位の時間をかけて”流れてきたかを調べています。本研究では、これら地下水中の微量なトレーサー成分の分析をすることで、地下水の流動系の解明を行っています。

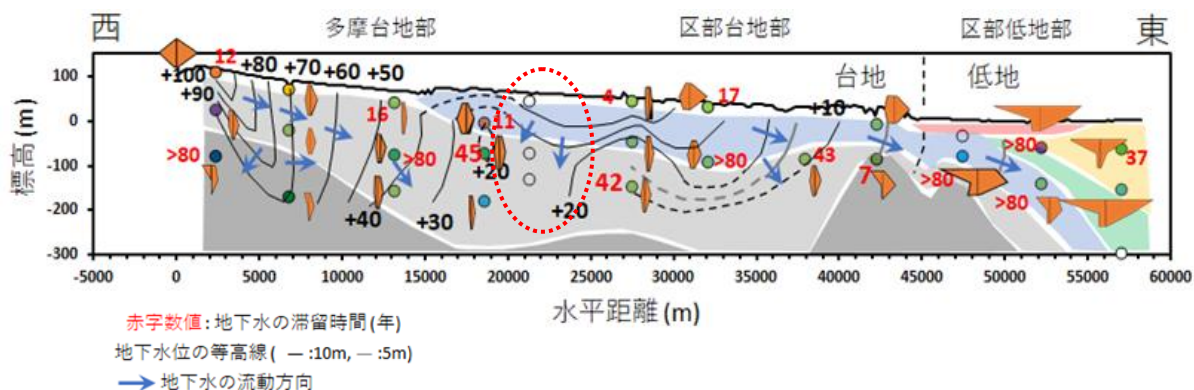
ア 各観測井における調査結果

多摩台地部と区部低地部の地下水は、推定される滞留年数や溶存イオンの濃度、酸素安定同位体比など、異なる特徴がみられることから、涵養源が異なることが示唆されますが、今後は区部台地部に相当する区部西側地域等を含め、更にデータを蓄積する必要があります。（右図）



イ 水平面、垂直面でみた地下水の流動と特徴

西の多摩台地部から東の低地部に至る、地下水の3次元的な流動が少しずつ見えてきました。多摩の一部地域では、浅層部と深層部の地下水の交流など地下水の複雑な流れが存在することを示唆するデータが得られました（下図中の赤枠内の矢印）。

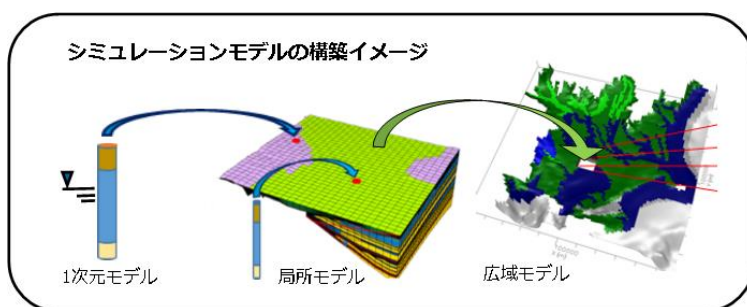


【テーマ2】地下水の揚水等の影響予測（報告書 9-3 P110, レポート第4章 P41）

地下水を、どこで、どのくらい汲んだら、どこに影響があるか（ないか）を予測するシミュレーションモデルを構築する。

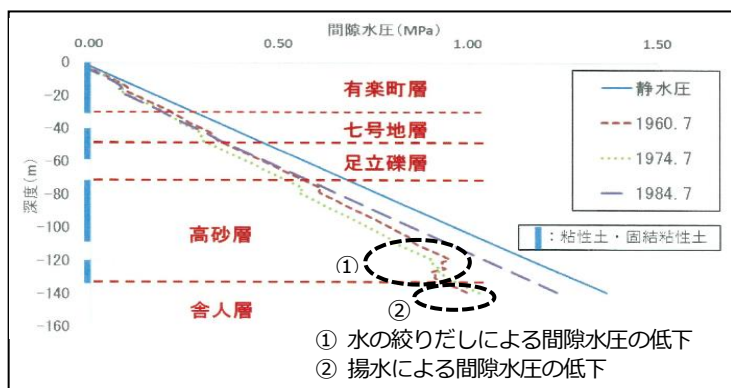
地下水と地盤沈下の関係については、実はまだまだ分からないことが多いといえます。この研究では、どこかで地下水を汲んだ時に、離れた場所での地下水にどのような変化が現れるか、それによって地盤にどのような影響があるかを予測するシミュレーションモデルを作っています。

モデルは3段階にわけて構築を考えています。まず、地盤沈下が起きていたエリアでの、地下水位と地盤沈下の関係をモデル化します。これを一次元地盤沈下モデル（1次元モデル）と呼んでいます。次に、1次元モデルを拡張した数km四方の局所地下水連動・地盤変形練成モデル（局所モデル）を作成します。最後に、都内全体の地下水の流れの広域地下水流動モデル（広域モデル）の中に、この局所モデルを組み込むことで、**地下水の流れ—地下水位—地盤の関係**が分かるようになります。（右図）



1次元モデルを作成するために、実際にあった地盤沈下と地下水位の記録から、地盤の詳細な物性値を推定するという**逆解析**という手法を使っています。通常、シミュレーションモデルを作る際には、様々な条件（一般的にパラメータといいます）を設定して、予測を行います。このモデルでは、地下水位が変化したら、地盤がどのようになるかを知りたいということになります。その際に必要なパラメータである地盤の情報（物性値）については情報が足りず、このままではモデルを作ることができません。そこで、実際に地下水位と地盤について、実際にあった過去のデータと合うようにコンピュータで計算し、**地盤の物性値を探るといのが逆解析**となります。

物性値の逆解析からは、現在の地盤の状況だけではなく、**過去に地盤がどういう状況だったかも推定**できます。地盤沈下が激しかった1970年頃の地盤の状況を見ることもでき、区部低地部の調査地点における「**間隙水圧**」という地盤中の水の持つ圧力に着目すると、地下水の揚水量が多かった頃なので、地下水が溜まっている砂層（帯水層）から水が汲まれ、砂層の間隙水圧が大きく低下していることが分かっています（左下図②）。それに伴い、砂層に接した粘土層からも引っ張られるように水が絞り出されて粘土層が縮むため地盤沈下が起きています。



間隙水圧の分布の推定結果（亀戸第2観測井）

しかし、今回の計算の結果、粘土層では水の動きがゆっくりであるため、間隙水圧は低下しているものの下がりがきつてはいないことがわかりました（左下図①）。つまり、粘土層には絞り出し切れていない水が残っていて、**大幅な地下水位の低下があると、粘土層からまた水が抜けだして、地盤沈下が再開する余地がある**ということが判明しました。

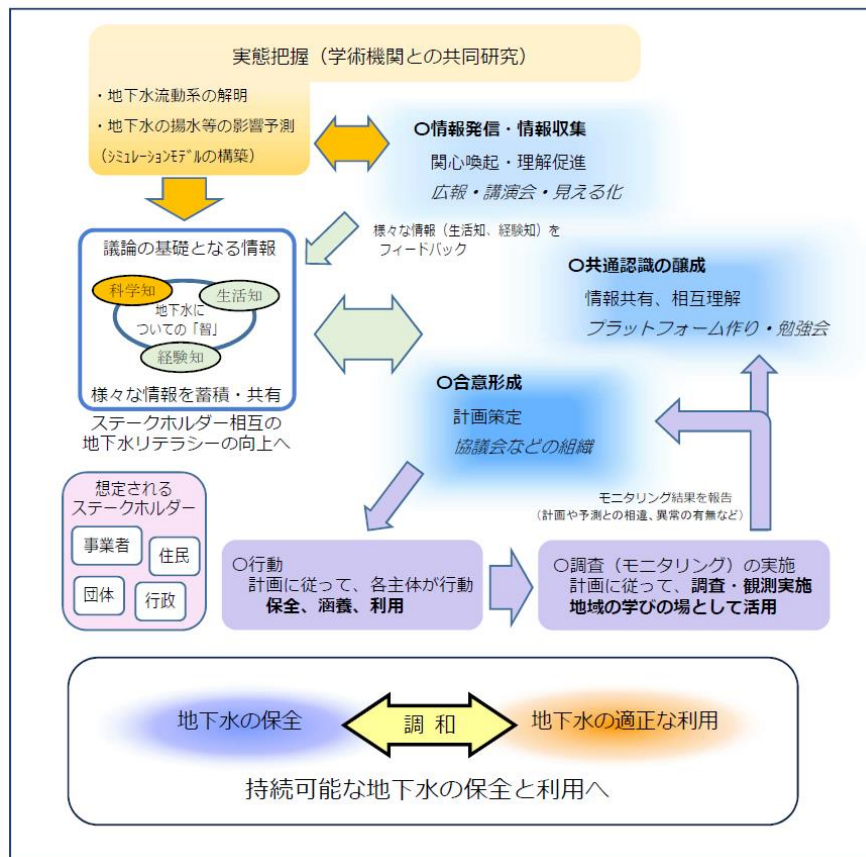
2. 地下水ガバナンスへ向けて（報告書 10-2 P120, レポート第 5 章 P45）

これまで、東京都を含む地盤沈下の問題があった地域では、行政により揚水を制限する地下水管理が行われてきました。持続可能な地下水の保全と利用に向けては、地下水を利用する立場や地下水揚水によって影響を受ける可能性のある立場、地下水を保全する立場など、多様なステークホルダー（住民、事業者、団体、行政など）が存在するため、これらの主体間における対話や合意形成が重要となります。この幅広い関係者が相互に協力しながら地下水の統治を行う仕組みのことを「地下水ガバナンス」と呼んでいます。この地下水ガバナンスを進めるには、例えば以下のような取組が考えられます（下図）。

地下水についての基本的な情報や、専門的で難解な研究成果について、できるだけ分かりやすく情報発信を行う必要があります。そして、住民や事業者、団体などの地下水に関するステークホルダーとなりうる方々と、地下水に関する知識や情報を共有していきます。

また、科学的な情報（科学知）だけではなく、地下水を利用する住民や事業者、団体などの方々が普段の生活や経済活動の中で得ている「生活知」や「経験知」を共有し、互いに地下水リテラシーを向上させていくことも大切です。

勉強会などの機会を通じて、こうした情報の共有や、それに基づく話し合いをすることで、地下水に関してそれぞれが抱えている課題等について、共通認識や相互理解を醸成します。さらに、将来的には協議会などを設置して議論を深めていきます。これらの過程を経て、持続可能な地下水の保全と利用に向けた計画策定など、多様なステークホルダー間における合意形成を目指します。これらのプロセスには時間をかけて取り組んでいくことが重要です。



地下水ガバナンスへの取組に向けたイメージ