

# 令和 7 年度第 1 回地下水対策検討委員会

令和 7 年 1 月 13 日 (木)

東 京 都 環 境 局

## 令和7年度第1回地下水対策検討委員会

日 時：令和7年11月13日（木）10：00～11：59

場 所：WEBによるオンライン会議

### 1 開 会

### 2 議 題

- (1) 地盤と地下水の現況について
- (2) 地下水の実態把握の取組について
- (3) その他

### 3 閉 会

#### 〔配布資料〕

会議次第

委員名簿

資料1 地盤と地下水の現況

資料2 地下水の実態把握の取組について

午前10時00分 開会

○水環境課長 皆様、本日はお忙しいところ御出席いただきまして、誠にありがとうございます。

定刻となりましたので、ただいまより令和7年度第1回地下水対策検討委員会を開催いたします。

私は、自然環境部水環境課長の大久保でございます。どうぞよろしくお願ひいたします。

本検討委員会は、地下水対策検討委員会設置要綱第8に基づき、公開で実施いたします。また、同要綱第8の2に基づき、効率的な会議運営のため、オンラインでの開催とさせていただいております。委員の皆様には遠隔で御出席いただいておりまして、オブザーバーや傍聴人もウェブによる参加となります。

ウェブ会議に際しまして、幾つかお願いがございます。

議事録を作成するため、発言される際には、まず最初にお名前をおっしゃっていただくようお願いいたします。また、発言されるとき以外は、マイクはオフにしていただくようお願いします。事務局または皆様の通信環境によって、映像や音声が不調となる場合がございます。そのようなときは、ビデオをオフにしていただきますと良好になる場合がございます。

まず初めに、本年度10月より新たに2名の委員をお迎えいたしましたので、御紹介をさせていただきます。

拓殖大学政経学部教授の奥田委員でございます。

続きまして、産業技術総合研究所地質情報研究部門平野地質研究グループ研究グループ長、納谷委員でございます。

よろしくお願ひいたします。

次に、委員の出席状況について、本日の御出席の委員の皆様の御紹介をいたします。

五十音順に御紹介させていただきます。

まず、愛知委員でございます。

○愛知委員 愛知です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 次に、杉田委員でございます。

○杉田委員 杉田です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 次に、千葉委員でございます。

○千葉委員 千葉です。どうぞよろしくお願ひいたします。

○水環境課長 次に、辻村委員でございます。

○辻村委員 辻村でございます。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 本日は、徳永委員と守田委員が御都合により欠席となってございます。

次に、会議の開催に当たりまして、自然環境部長の関より御挨拶を申し上げます。

○自然環境部長 ただいま御紹介にあずかりました、環境局自然環境部長の関でございます。

会議の開催に当たりまして、一言御挨拶を申し上げます。

委員の皆様におかれましては、お忙しい中、御出席を賜りまして誠にありがとうございます。奥田委員及び納谷委員におかれましては、新たに委員をお引き受けいただき、誠にありがとうございます。また、昨年度からの委員の皆様も、引き続きどうぞよろしくお願ひいたします。

都では、地盤沈下と地下水の現状の検証を行うとともに、持続可能な地下水の保全と利用の実現に向けて、多様なステークホルダーの合意形成を図る上で前提となる地下水の実態把握を着実に進めるほか、情報発信、情報収集など様々な取組を行っております。

国では、令和6年8月に変更されました水循環基本計画におきまして、同年1月の能登半島地震で生活用水の確保が課題となったことを背景といたしまして、非常時における地下水等の有効活用の推進が明記され、令和7年3月には災害時地下水ガイドラインが策定されるなど、災害時における代替水源としての地下水の活用についても実効的な取組を推進しております。

都におきましても、令和6年7月に環境確保条例施行規則を改正いたしまして、病院等の人命に関わる施設の揚水量制限を断水時に限り一時的に解除するなど、時勢を捉えた対応を図っております。

委員の皆様におかれましては、こうした都の取組に関しまして専門的見地から活発な御議論をいただきますようお願いいたします。簡単ではございますが、私の挨拶と代えさせていただきます。

○水環境課長 続きまして、事務局の職員を御紹介させていただきます。

まず、計画課長の古館です。

○計画課長 計画課長の古館です。どうぞよろしくお願ひいたします。

○水環境課長 水環境課事業推進担当の斎藤。

○事務局（斎藤） 斎藤です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 同じく射矢です。

○事務局（射矢） 射矢です。よろしくお願ひします。

○水環境課長 事業調整担当の金子です。

○事務局（金子） 金子です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 地下水管理担当の寺崎です。

○事務局（寺崎） 寺崎です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 同じく谷本です。

○事務局（谷本） 谷本です。よろしくお願ひいたします。

○水環境課長 以上でございます。

それでは、これから会議の進行につきましては杉田委員長にお願いしたいと存じますが、皆様の端末上にあらかじめお送りしております資料の御用意をお願いいたします。

本日の議題は、（1）地盤と地下水の現況について、（2）地下水の実態把握の取組についての2点といたしまして、御意見をいただきたく存じます。

なお、本日は傍聴の申出がございますので、よろしくお願ひいたします。

それでは杉田委員長、どうぞよろしくお願ひいたします。

○杉田委員長 承知いたしました。

それでは、会議に入ります前に、本日は傍聴を希望する方がいらっしゃることですので、本会議はウェブ上での傍聴のみとなっております。

それでは、傍聴人を入室させてください。

(傍聴人入室)

○杉田委員長 傍聴の皆様は退出は御自由となっております。

それでは、ただいまから令和7年度第1回地下水対策検討委員会を開催いたします。

事務局より資料の説明を最初にお願いいたします。

○事務局（斎藤） ありがとうございます。

それでは、議題（1）地盤と地下水の現況について説明させていただきます。

3ページ目、資料1を御覧ください。

初めに、都内の地盤変動、地下水位及び地下水揚水の概況について説明させていただきます。

まず、都内全域の地盤についてです。右上に直近5年間の地盤変動図を示しておりますが、

直近5年間の累計で2センチ以上沈下した地域は清瀬市内の1点のみであり、全体として安定してございました。清瀬市の状況につきましては、清瀬市内でそのほか5地点の水準点について継続的に測量を実施しておりますが、経年に隆起する傾向となってございます。また、隣接する埼玉県の水準測量結果においても同様に隆起の傾向が見られること、また、国土地理院で公開しております衛星の観測データを利用した地盤変動解析の結果からも、当該地点が周辺地域と比較して異なる傾向は見られていないことから、地域一帯の沈下ではなく当該水準点の不具合と考えられます。こちらの状況については今後も注視していきたいと考えております。

また、次に地下水の水位についてですが、全体として上昇傾向が継続しております。左下に令和5年末の地下水位等高線図と、比較としてその5年前の平成30年末の地下水位等高線図を載せてございます。特に多摩東部の地下水位等高線、赤色が標高20メートルの線、黄色が標高30メートルの線になりますが、この地域の水位が上昇したことにより、それぞれ北東及び東のほうへ等高線が移動していることが分かるかと思います。

次に、都内での揚水量につきまして、右下の図で経年変化を表してございますが、令和5年は日量26万7,000m<sup>3</sup>となっておりまして、直近5年間では10万1,000m<sup>3</sup>減少しております。このうち9万6,000m<sup>3</sup>が上水道用の揚水の減少となっております。

なお、揚水量報告を開始した昭和46年と比較いたしまして、令和5年の揚水量は19%程度となっております。

次に、地域別の状況について見ていくたいと思います。4ページを御覧ください。

まずは低地の観測井における地盤と地下水位の状況です。

地下水位につきましては左下の図に表しております。近年は上昇傾向が継続しております。直近5年間の変動量につきましては、全38観測井で水位が上昇しておりました。

地盤につきましては、直近5年間で2センチ以上沈下した地域はなく、安定した状況となっております。地盤沈下用の観測井では、地表から井戸の管の底までの浅い地層の変動と、管の底より深い地層の変動とに分けて観測することができます。

江東区亀戸などの地盤変動を地層別に分けて見ていくと、浅層部につきましては緩やかに収縮傾向を示しております。深層部につきましては緩やかな膨張傾向が見られます。地表面だけ見ておりますと安定しているように見えますが、浅いところ、主に沖積層に由来する層については、緩やかではあるものの収縮が続いていることが分かります。

次に、台地の区部の観測井における地盤と地下水位の状況です。

地下水位は上昇傾向が継続しております、直近5年間の変動量につきましては、全6観測井で水位が上昇しておりました。左下に地下水位の図が描いてございます、が紫色の線で示しております練馬第2の観測井の上昇が顕著になっております。

地盤につきましては、直近5年間で1センチ以上沈下した地域はなく、安定した状況でございます。地層別に見ますと、浅層部につきまして、青色の線で示しております世田谷の観測井において、30年間で5センチ程度ではありますが収縮が起こってございます。また、グラフに掲載してございませんが、杉並の観測井におきましても同様の収縮傾向を示しております。こちらは、収縮している原因につきましては、周辺の水準測量結果も含めて確認しているところではございますが、あまり一貫性がないような状況ではございます。

また、左下の地下水位のグラフを見ますと、一番上の線で示しておりますのが、世田谷の観測井の地下水位の観測結果、また上から2番目の線で示しておりますのが杉並の観測井の地下水位の観測結果でございますが、いずれも観測開始から上昇傾向を示しております。そのため、地下水揚水による地盤の収縮ではないと捉えております。また、全体としましても5年間でプラスマイナス1センチ未満と、ほかの地域と比較して変動幅は小さいですが、こちらの状況につきましては今後も注視していきたいと考えております。

最後に、台地の多摩部の観測井における地盤と地下水位の状況です。

地下水位は上昇傾向が継続しております。特に府中市や小金井市などの多摩東部の地下水位の上昇が顕著となってございます。

地盤につきましては、直近5年間で2センチ以上沈下した地域はなく、安定した状況となっております。

地層別に見ますと、浅層部は収縮も膨張もあるような状況、深層部は膨張傾向を示す観測井が多くなっております。また、ピンク色の線で示しております長期沈下傾向にありました清瀬の沈下も収束しております。

続きまして、7ページ目の都内の地下水揚水の傾向に移らせていただきます。

令和5年につきましては、都内では日量約26万7,000m<sup>3</sup>が揚水されておりまして、大半を多摩地域が占めております。

左下に地域別の割合を示しておりますが、区部低地部で都内全域の揚水量の4.3%、区部台地部で6.1%、多摩部で89.6%となっております。また、用途別の割合で見ますと、

58%が上水道を含む飲料用として用いられております。近年でこれらの割合に大きな変化はございませんが、直近5年間で見ると、多摩の東部における上水道揚水が大きく減少しております。

右下の図に経年の揚水量の推移を表しております。昭和45年をピークに都内の揚水量は年々減少しております。

資料1の説明については以上となります。

○杉田委員長 ありがとうございました。

ただいまの御説明に関しまして御意見、御質問等がありましたら、委員の皆様、お願いいたします。

では、私から質問させていただきます。先ほどの世田谷及び杉並観測井の地盤沈下ですが、5ページの直近5年間累積変動量の全体に記載されているマイナス0.66センチが、世田谷観測井の値になるのですか。

○事務局（齋藤） そのとおりでございます。全体でマイナス0.66センチが世田谷の観測井になります。また、浅層部で、マイナス0.61センチが世田谷の観測井でございまして、世田谷の観測井が区部台地部においては比較的沈下しているという状況でございます。

○杉田委員長 ありがとうございました。

それほど大きな沈下ではないということなのですが、地下水位が上がっていて、沈下が起る原因について、何か推定は可能なのでしょうか。それとも、全くよく分からぬという状況ですか。

○事務局（齋藤） 世田谷と杉並の観測井の位置ですが、5ページ目の右上に示しております観測井配置図で見ますと、世田谷の観測井が一番下の黒い点になります。そのすぐ右上に位置するのが杉並の観測井でございまして、世田谷の観測井と同じように30年間で5センチという、微々たるものですが、若干沈下傾向である状況でございます。

ただ、水準測量で観測井近くの水準点は測量しているのですが、世田谷と杉並の観測井間にある水準点は必ずしも沈下傾向ではなく、あまり一貫性がないような状況ですので、一帯で沈下が起こっているというわけではないと現時点では捉えております。

また、地層的に見ても、世田谷の観測井と杉並の観測井は異なる傾向でございますので、原因が今のところは分かっていないような状況でございます。

○杉田委員長 ありがとうございました。よく分かりました。

納谷委員、お願ひします。

○納谷委員 コメントなのですが、低地と台地と区分していただいているのですが実際、区部の区分とは正確には一致しないところが多分あると思うので、例えば地形分類図とか、あるいは地質図とか、そういうものを背景に入れたような図を作つていただけると、台地と低地の対応とかを見て判断できるのかなと思いました。

あとは、台地といつても多分、丘陵も含まれると思うので、そことの違いが判断できるとよりいい資料になるのかなと思いました。

○杉田委員長 ありがとうございます。

事務局からありますでしょうか。

○事務局（齋藤） ありがとうございます。地形図等々も含めて図に表せるように配慮したいと思いますので、何とぞよろしくお願ひします。ありがとうございます。

○杉田委員長 ありがとうございます。

ほかにコメント、御意見等ありますでしょうか。

それでは、次の議題に移りたいと思います。議題の（2）、地下水の実態把握の取組についてになります。

最初に事務局より御説明お願ひいたします。

○事務局（齋藤） 事務局でございます。

それでは資料2、8ページを御覧ください。

こちらにつきましては、共同研究を行っております筑波大の辻村先生並びに東京大学、愛知先生にも御説明をお願いしております。まずは事務局から、実施状況の概要等を御説明させていただきます。

まず1点目が、筑波大学、辻村先生との共同研究であります地下水流動系の解明についてとなります。こちらは地下水の涵養－流動－流出のプロセスの解明を目指すものになります。

右側にこれまでの実施状況の概要を記載してございます。令和3年度までは土木技術支援センターの観測井や民間の揚水井などの地下水、その他にも降水、河川水、湧水について分析を行い、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してまいりました。令和4年度は多摩川中流域における調査を実施し、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してまいりました。令和5、6年度には、台地と低地における地下水の関係解明を目的に、台地部から低地部のデータが不足している地域を中心

心に調査を行っており、令和5年度は区部南部、令和6年度は区部北部を中心に調査を行っております。今年度につきましては、都内全域の地下水流动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いたしまして、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动の解明を目的に調査及び解析を実施しております。

次に、2点目の東京大学、愛知先生との共同研究であります、地下水の揚水等の影響予測についてとなります。長期的な揚水による地下水及び地盤への影響を予測するシミュレーションモデルの構築を目指しています。

これまで一次元地盤沈下モデルの構築を行っており、令和5年度までに計23か所の観測井においてモデルを作成し、地盤変動量の再現を確認しております。現在は、その次の段階となります局所地下水流动・地盤変形連成モデルの作成に入っております。低地北部の足立区で局所モデルを作成しております、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、再現性を確認する予定です。

続きまして、9ページを御覧ください。

こちらでは、地下水流动系の解明の取組について概要を示してございます。

取組の概要といたしましては、地下水がどこで涵養され、どのくらい時間をかけ、どこを流れているか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ものとなっております。

実施体制といたしましては、筑波大学、辻村先生の研究室と東京都環境科学研究所による共同研究でございまして、令和元年度より開始しております。

当研究の特徴といたしましては、複雑な地形、地質構造に加え、人為的な揚水により東京の地下水流动系は非常に複雑であると言われております。これまで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おりませんでした。そこで、本研究では、東京都建設局の観測井等の地下水、また地表水及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いたしまして、観測井による水理水頭分布のデータと統合、解析することにより、東京における地下水の涵養－流動－流出のプロセスの解明を目指しております。

展開方法といたしましては、第1段階の被圧地下水の広域流动の概況把握として、東京都建設局の地下水位観測井、都内39地点83井から採水いたしまして、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、地下水の流动方向、滞留時間等の概況を把握いた

しました。現在は第2段階に入っておりまして、地下水と地表水との交流に関する概況把握を行っており、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の調査及び検討をし、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の把握も進めております。

それでは、次のページから、地下水流動系の調査結果につきまして辻村先生に御説明をお願いしたいと思います。辻村先生、よろしくお願ひいたします。

○辻村委員 承知いたしました。辻村でございます。

10ページ目を御覧ください。

概況を地図上に落とし込んだ資料でございます。主に令和3年度までの期間は、青の楕円で示している範囲において、主に東京都内における建設局の観測用井戸を用いまして、水理水頭の確認、水のサンプリング及びその水に含まれております無機溶存成分や溶存ガス等の分析、その空間分布解析を行って、東京都の対象地域における全体の地下水の流れ、流動を明らかにすることを目的として行いました。

令和4年度は、その調査に基づきまして、多摩川を中心とした河川から地下水に対する涵養の影響を検証する意味で、主に黄色の楕円で示されたエリア、山地から扇状地を経て丘陵、台地に至る多摩川が流出してくる領域を対象にしまして、多摩川と周辺地下水との関係を明らかにすべく、水の採取、サンプリング等を行ったものでございます。

令和5年度、6年度におきましては、この赤の楕円で示されている領域、台地、丘陵部から低地に至るところというのは、建設局の観測井の分布が少ない領域でもございましたので、これまでのデータの少ないところを中心に、台地、丘陵及び東側の低地において、地下水、湧水、河川水等の採取及び各種化学成分の分析解析を行ったものでございます。

11ページ目を御覧ください。

令和6年度までのアプローチを基に、これまで明らかになった点を簡潔にまとめたものでございます。上半分の資料に図面が出ておりますが、向かって左側の図面が相対的に浅い部分、海拔標高でマイナス25メートルからプラス25メートルの範囲、右側の図面が相対的には深い部分、海拔標高でマイナス175メートルからマイナス125メートルの範囲になります。黒い曲線で描かれていますのが地下水の水理水頭の等高線図で、それに基づいて描かれている青い矢印が地下水の流れの方向を示してございます。

また、オレンジ色の六角形のダイヤグラムが描かれておりますが、無機溶存成分を表しており、六角形の向かって左側がプラス系のイオン、右側がマイナス系のイオンで、凡例にもありますように、中央の線からの距離、各六角形の頂点までの距離が、それぞれの溶存成分の濃度を示しています。この六角形が大きいほど、より多くの溶存成分を含んでいるということを示しているもので、形が違うということは化学的な組成が異なるということを併せて示しているものでございます。

また、赤字の数字で書かれているものが六フッ化硫黄、代替フロンとも呼ばれているものですが、この六フッ化硫黄を用いまして、地下水の滞留時間、地表面に涵養されてから採水されるまでに要する時間、年単位で示しているものでございます。併せて小さい円の中の色が示されていますが、地下水、湧水の中に含まれる酸素安定同位体比の濃度を示していて、暖色系が相対的に高い値を、寒色系が低い値を示しています。

こうしたデータを基に水平方向の地下水の流動を上半分の図に示しているのですが、浅い部分では、特に東の部分において、地形に沿って西から東へ、そして台地、丘陵地のやや東の部分、低地に近いほうになってきますと南西から北東に向かうような流れも見えてまいります。

一方、深い部分の地下水の流動を見てみると、西側では西から東へ向かうような流れが見え、台地部の中央付近において、地下水の水理水頭の等高線の谷部が見えてきます。そこに向かって西から東及び南から北へ動くような流れが見て取れ、さらに下流側、東側に行きますと南西から北東に向かうような流れが見て取れてまいります。

これを東西断面で示していますのが下の図面でございます。左側が西、右側が東で右側の破線で示されているのが台地部と低地部、およそ標高10メートルから15メートル程度ですが、境界部分でございます。台地部の特に西側においては、西から東に流れるような流れと、一部深部に動くような流れも両方見てまいります。さらに台地から低地に動くところでは、台地部から低地部に向かうような流れもある程度見てまいります。滞留時間、地下水が涵養されてから採水されるまでに要する時間で見てみると、台地部では、深いものでと長い時間を要するものもございますが、およそ10年程度から数十年、40年程度まで、低地部になりますと数十年、30年程度から、さらに、80年以上というのは六フッ化硫黄が検出されない地下水でございますが、そういうものも見て取れるようになってまいります。

12ページ目を御覧ください。

今申し上げたような流れを水平面図で簡潔に模式的にまとめたものがこの図でございます。多摩川からの涵養の部分も一部示されていますが、太い矢印がおおよそ流れの概要を示しています。また、オレンジ色の部分が台地、丘陵地及び山地、白抜きの部分は低地を示しているところでございます。西から東に流れるような向きと、台地の中央部から南西から北東に向かうような流れ、そして、特に北の部分で台地から低地の地下水の移行の可能性が示されているところです。

浅い部分と深い部分の流れの違い及び、また全体として地形に則って西から東に流れるような流れ、また深いところでは南西から北東に向かうような流れが見えてきているところでございます。一方で、課題としては、三次元で流れている地下水の流れを二次元に水平と鉛直で示しているので、見にくい、理解しにくいというところがあるかと思います。そういうことから、三次元可視化をしたほうがよりいいという課題も見えてきているところです。

また、南西から北東に向かう流れということになれば、東京都だけに限られた流れではないので、北東の埼玉県、あるいは南西からと申しましたが神奈川県、都境を越えたような地下水の流れは当然あってしかるべきだと思いますので、境界線を越えるような流れというのも今後は見ていく必要があるかと思います。

さらに、低地部で、塩素イオンが顕著に高い地下水が見られますが、起源が海塩起源であるか、地層からの絞り出しによるものなのかといった課題も残っているかと考えております。

13ページ目を御覧ください。

令和7年度におきましては、特にデータの比較的少なかった南西部、この図面でいきますと、オレンジの四角で民間の井戸の位置が示されていますが、これまで少しデータが不足している部分でございましたので、そういった地域及び山地のほうも含めて、サンプリング、水の採取を行っているところでございます。河川水、湧水、地下水について、まだ現在進行形ですので、60点から80点近く、全体としては採取することになろうかと思いますが、水の採取を都の環境研さんと共同で行っているところでございます。

14ページ目を御覧ください。

先ほど、地下水の流れを三次元的に示す必要性について言及をいたしました。一つの試行として、これまでに行ってきました観測主体、主に地下水の水理水頭、そして化学的な各種の成分から考察された地下水の流れを、ある程度見やすいように三次元化する試行を今年度において進めているところでございます。一部、観測データだけですと足りない部分、粗密の部

分がございますので、そういったところについては、数値モデルによる解析結果で補完するようなことも含めて、それを三次元的な可視化につなげるということを試行する作業を行っております。

15ページ目を御覧ください。

あくまでもイメージですが、元々、ビル風の可視化事例で示されているものを引用している図でございます。

赤い線で示されているものが、流速の強い部分、青の薄い部分が逆に弱い部分です。任意の場所において、地下水の流れを線で示すことへの誤解を招く怖さも少しございますが、地下水の流れの強さを含めて、図面上で見る側が任意の地点を何か所か選べるようにして、その地点での視点に則って地下水の流れが三次元的に可視化できるようなアウトプットを今試行しているところでございます。

16ページ目を御覧ください。

今年度、主にサンプリングを行って、現時点で得られているデータのうち、特に南西部の河川水における無機溶存成分、先ほどの六角形のダイヤグラム及び酸素安定同位体比、暖色系が高く寒色系が低いものですが、その空間分布を示しているものでございます。全体として酸素安定同位体比は、多摩川、秋川、いずれも河川の上流側において最も低く、標高が低くなるほど値としては高くなるという傾向を示しているところでございます。ただ、一部下流域においても単純に上昇し続けるわけではなくて、低下しているところもございますので、地下水とか浅水との交流関係を念頭に置きつつ解析をする必要があると考えております。

また、上流側では細いダイヤグラムになっていますが、全体としては真ん中で膨れています。つまり、カルシウムと重炭酸の濃度がほかのイオンに比べて高い傾向を示しています。一般的によくある河川水の水質組成ではございますが、一方で、下流になりますと頭でっかちのダイヤグラムが見えてございます。左側のナトリウム、右側の塩素が顕著に高くなる傾向がございます。先ほどの塩素の起源、どこにあるかということ等を含めて、解析はさらに進めていく必要があると考えているところでございます。

ここまでが、これまでの共同研究の成果ですので、私の説明は一旦ここで終わらせていただきます。ありがとうございました。

○事務局（齋藤） 辻村先生、ありがとうございました。

続きまして、2点目の地下水の揚水等の影響予測についてとなります。17ページに概要を

記載してございます。

取組の概要といたしましては、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いたしまして、地盤沈下が起きる地下水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シミュレーションの構築を目指すものとなっております。

実施体制といたしましては、東京大学、愛知先生の研究室と東京都環境科学研究所による共同研究となっており、平成29年度から開始しております。

展開方法といたしましては、第1段階として、東京都建設局の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まして、地盤物性値の推定をしてまいりました。現在は第2段階に入っております、同じく東京都建設局の観測井、そ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の作成を進めております。また、第3段階としまして、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の実施を目指しております。

18ページを御覧ください。

こちらの図は、あくまでシミュレーション結果のイメージでございますが、緑色のメッシュで表している箇所が広域モデルによる予測の範囲、黄色のメッシュで表している箇所が局所モデルと広域モデルの連結による予測範囲となります。

黄色のメッシュの局所モデルの範囲内におきましては、200メートル程度のより細かいメッシュで地下水位の低下量や地盤収縮量を高精度に予測することを目指しております、現在は右上の足立区の局所モデルの作成中でございます。

それでは、次のページから、研究結果につきまして愛知先生に御説明をお願いしたいと思います。愛知先生、よろしくお願ひいたします。

○愛知委員 よろしくお願いします。御紹介ありがとうございました。愛知です。

それでは、地下水の揚水等の影響、特に地盤沈下に関するこれまでの研究について御説明したいと思います。19ページ目を御覧ください。

これまで、東京都が管理されている各地盤沈下観測井の地下水位、地盤沈下の観測データを活用し、その地点における鉛直一次元地盤沈下モデルを作成しまして、どのような物性で、どのような地盤変形が起きてきたのかということの再現解析を行ってまいりました。

左側に示しておりますのが、実施してきた観測井の分布図になっております。東京都に地盤沈下観測井はたくさんあるのですが、その中で比較的長期間観測データがあり、地盤沈下が明瞭に見えていて、データの分析が可能なものの、地質情報等が分かっているもの等を抽出いたしまして重点的に再現解析を行ってまいりました。各年度、5地点ずつほど解析を進め、最終的に左の観測井の分布図で丸がついている箇所の再現解析を進めてまいりました。

真ん中のグラフが舎人観測所と言われる足立区の場所の一つの解析事例なのですが、地盤沈下の再現を試みまして、かなり高い再現性を得ることができました。このような解析を各地点において行いまして、その結果、例えば、舎人層の砂層や粘土層であればこれぐらいの透水性の頻度分布であると再現性が得られやすいという知見が蓄積されてきた状況にあります。

こちらの地盤物性は、今後モデル化するときに、この値付近から解析を始めて、そこから再現性がよい方向に少しづつ修正していく作業をしていくわけですが、その際に活用できる情報が東京都全体でかなり得られてきたと思っております。

20ページ目を御覧ください。

次のステップとしまして、先ほど御紹介がありましたとおり、足立区付近を対象に局所地盤沈下モデルを作成していきまして、これまでの地盤沈下の履歴を再現解析する取り組みを始めている状況です。図は、足立区を一つのケーススタディーとして局所地質モデルを構築する手法を表したものです。

上左側の図は、東京都から御提供いただきましたボーリングデータです。沖積層及び東京層群に分けて、砂とか泥、それから砂から礫といったような遷移確率の計算を行い、それに基づいて各領域ごとに岩相分布を確率的に推定し、それを組み合わせることで三次元の帶水層、あるいは難透水層分布を生成するという試みを行いました。

その形としては、少しずれるところもあるのですが、東京都大深度地下地盤図に書かれている断面図の形状に近いものが生成できるということが分かってきております。

揚水量分布の作成については、特に東京都に御協力いただきて作成しているのですが、過去の台帳、資料を収集しまして、井戸の揚水量データ、井戸の構造のデータを再現することを行ってまいりました。個別井戸の揚水量を調査した台帳を元に揚水量を積み上げていきました。別途、区市町村ごとに公表されている統計値と突き合わせを行い、おおむね近い値を得るところまで積み上げることができました。

少しづれが生じているところもあるのですが、誤差なく突合させるのは難しいところがあります。区の公表統計値も、実は単純に過去のデータを足し合わせただけではなくて、調査し切れなかった水量を、その時々の推計によって積み増したりしている場合もあり、そういう記録はほとんど残っていない状況です。実際、このような調査を行っていた新藤先生の論文の端や報告書に少し書かれている程度で、具体的に何が行われていたかを調べることは難しい状況です。揚水量推計というのは、大体複数の資料を当たってそれぞれ突合すると、二、三割の誤差はどうしても出てしまうというものでございますので、その範囲には十分入るような形で調査はできたと思っております。

それから、足立区内の井戸の場所の分布も調べまして、旧地名から現在の地名に可能な限り変換し座標値化しまして地理的分布を再現しました。その結果、足立区内でも、どこの領域で揚水が行われていたのかということが表現できるデータになったと思っております。

これまでの類似の研究ですと、足立区の区全体の揚水量を満遍なく面積案分するということが普通に行われていたのですが、本研究は、より細かいデータを積み上げることによって、足立区の中でも、どの領域でより揚水があって地盤沈下が生じやすかったかということをモデル内で表現できるようになることを期待して行ったものでございます。実際、分布は満遍なく広がっているわけではなく、一部の場所にかなり集中的に存在しているという分布が見えているところでございます。

以上がモデル作成に向けてこれまで行ってきた作業でございます。

21ページ目を御覧ください。

このようなデータの蓄積を踏まえて、今年度から局所モデルの解析に取りかかる計画をしております。先ほど確率的に生成ということを申し上げましたが、地下の構造というのは必ずしも完全に分かっているものではなく、中でどういう分布をしているのかというのは、色々な可能性がございます。その可能性をある程度幅を見るために、色々なモデルを確率的に生成しまして、その解析結果を統計的に評価することによって、地盤沈下の将来予測の不確実性というものを評価していきたいと考えています。ある一個のこれがいいんだろうと考えたモデルから出てくる、いわゆる点推定ではなくて、確率的推定を行っていきたいと考えておりますので、複数のあり得るモデルを作成しまして、それぞれ観測データを十分再現するような形に物性値を修正していき、最終的には再現性の高いモデルの作成につなげていきたいと考えています。その流れの中で、これまでつくってきました水理地質モデルのアライ

ゼーション、確率的な生成を複数構築しまして、そこに先ほど御説明しました揚水量分布を設定するということと、これまで一次元モデルで探索してきた地盤沈下の再現性がよい物性値を初期値として入力しまして解析をしていきたいと思います。右下に示しておりますヒストグラムから、どのあたりの物性値がうまくいく可能性が高いかということが分かっていますので、優先的に探索するようなアルゴリズムで、効率的かつ現実的な値、確からしい値で収束する手法により解析をしていきたいと思っております。

それから足立区モデルの境界条件を与える必要があります。境界条件としては、広域の関東平野の地下水流动モデル、かつて私が作成したことがあるモデルで、地下水のおおよその傾向は再現できるということが分かっていますので、こちらを使って境界条件を与えて、それに基づいてこの局所モデルを計算することを考えております。

22ページ目を御覧ください。

こちらは目的が異なる研究でございます。今年度含めて約3年で行っていきたいと考えている研究ですが、地下水利用を今後行うとした場合、地盤沈下が問題となる大きさの変位量が生じない、かつ塑性変形として未来永劫変形が残るということがないように、うまくコントロールしながら地下水を使っていくということが重要になると思っております。

そのような背景の中で、私自身も20年ほど前に総説を書かせていただいたのですが、モニタリングしながら地下水を利用して、もし予想と違う大きな変形量などが現れた場合、早く揚水をストップして、再検討により揚水量を減らすといった対応をとっていけば安全なのではないかという概念的なことは既にその頃から提唱されておりました。その頃、モニタリングと揚水計画をうまく組み合わせれば、地盤沈下のリスクを大きくすることなく地下水を利用できるのではないかと概念的に思っていて、恐らく世界中のみんなそう思っていたと思うのですが、果たしてどのぐらいのシグナルを検知したら揚水を停止することを考えたらいいのかということを実際、検討してみたほうがよいと思いました。

そこで、単純な地盤モデルで検証してみたというのがこの図でございます。左側の図にざっくりと粘性土があり、下に帶水層があるという沖積層の典型的なモデルを示しております。有楽町層と基底礫層みたいなものをイメージした厚みのモデルに、物性も東京の沖積層のような値を入れてこのコンセプトで解析したとき、どう見えるのかということを見てみようと思い、数値シミュレーションで帶水層から揚水をしました。その結果、右のグラフのようになりました。

コンピューターシミュレーションですので、内部的に塑性変形がどこで開始したかということは当然、計算上判定できるので、その判定に基づいて塑性変形開始の線を引いたのが縦線の点線になります。では、この前後で地盤沈下量が劇的に変わっているように見えるかというと、実は人間の目で見てもよく分からぬといふことが分かってしまったということです。つまり、塑性変形が始まても、急激に沈下量が増えるといったことは起きないということです。これは、粘性土の全ての領域が塑性変形を開始するわけではなく、帯水層に近いところから塑性変形が部分的に進行していくという部分もあり、この厚い地層が全部塑性変形開始したら大きな変形になるのですが、実際はそうではないことがあります。

とは言ひながら、よく分からぬうちに塑性変形が進行していくことが起こり得るということで、実際、このモニタリングデータを見ていても、1年以内に何か塑性変形の始まりを検知するということは難しそうだということになりました。もちろん、これはコンピューターシミュレーションですので、実際の観測データはさらにいろんなノイズが乗っております。その中でどう判断していくかということは、さらに難しそうだと思いました。

こうなると、モニタリングをしていたから安全とか、モニタリングをしていたから何か防げるという、単純にそんはいかないということで、どうしたらこういったデータを分析して塑性変形の始まりを検知することができるのだろうかとか、あるいはそのような手法を駆使したとしても、必要な観測期間はどれぐらいあるのかとか、そこで検知してから揚水停止した場合に、どの程度恒久変形が残ってしまうのかとか、そういうことを総合的に検証した上で、モニタリング計画、設計デザインをしていかないといけないのではないかということで、この研究を考えるに至ったということです。

こういった手法を開発したとして、実際の地盤で地盤沈下させて実験するということも難しいので、室内実験とか、あるいは過去のフィールドの観測データとの比較検証等を通じて、そういう手法の有効性というものを検証していくということこの2本立てをこれから進めいかなくてはいけないと考えたということです。この研究を進めていくところで、まず、取っかかりとして3年、少し方向性を定めていく研究をしていきたいと思っております。

23ページ目を御覧ください。

では、その見込みがあるのかといふところで、幾つか予察的な検討を行いました。これはコンピューターシミュレーションとモニタリングデータを両方使うという手法ですが、先ほ

ど申し上げたように、地盤沈下モデルを複数作成して、いずれも過去のデータを非常によく説明するような複数のモデルの統計手段、モデルアンサンブルを構築するという前提に立ちますと、そのモデルが将来予測においてどのように判定するか、塑性変形に入りますというのか、あるいは、あるモデルは塑性変形に入るというし、あるモデルはまだ弾性変形だということが起こり得るわけです。

その中で、今このまま揚水していくと塑性変形になります、あるいは、今塑性変形になりましたとモデル側の計算上そうなるタイミングで手を挙げて多数決をしたらよいのではないかというのが最初のアイデアでございました。もし多くのモデルが、もう塑性変形に入りましたと判定したのであれば、実際のほうも塑性変形に入っている可能性が高いということで、確率的に警告できるのではないかと考えました。

その多数決をした場合の結果が一番右側のグラフです。実際、揚水を続けて、モデルのアンサンブルで地盤変形を計算していきながら弾性か塑性かというのを判定して、そのモデルの中でどうなっているかということを抽出して単純な多数決を行ったのが、右側のグラフの黒線です。単純な多数決ですと、正解としてつくっておいた塑性変形が開始するポイントで反応しませんでした。グラフの黒線が少し上がっていってはいるのですが、塑性変形状態である確率というものをうまく推測するということはできませんでした。

そこで、考え方を変えまして、モデルアンサンブルの中でも、観測データに対する再現性というものは少しずつ差がありますので、その差に基づいて、観測データに近い結果を出しているものに信頼性の重みをつけるということをしまして、重みつき多数決判定にした結果、右のグラフの赤線のようになりました。この手法を使いますと、実際の塑性変形開始前に、およそ80%ぐらいで塑性変形状態かもしれませんと言っています、実際に塑性変形に至る前の1年弱ぐらい前から急激な確率の上昇を示しており、危ないということを事前に警告してくれている、そういうことがこのケースでは少なくとも実現できたということです。

その重みがどう変わっていたかというのが真ん中のグラフで、それぞれのモデルの発言力の強さを対数軸で示しております。基本的に対数軸は、1つ上がれば1桁、意見の強さが変わりますので、一部の再現性のよいものがかなり強い発言権を持っています。ほかのモデルの10倍ぐらいの意見の強さを持っているということなので、この手法によって、塑性変形開始直前には事前警告ができそうという感触を得ているというところでございます。

こちらは、数値解析、コンピューターで作成したある特定の地盤沈下モデルで、地盤沈下

の正解とした沈下パターン、それから塑性変形に入るタイミングというものを予測できるかという検証でしかないので、それを実地盤でどの程度通用するのかというのが、次のステップとして考えていく必要があると思っております。

24ページ目を御覧ください。

シミュレーターで作成した擬似観測データに対しての判定能力は比較的高いということが分かってきたのですが、そもそもシミュレーターで作成したものに対してシミュレーターで推定をするということをしているので、相性がいいに決まっているというところがありまして、実際には、実地盤というのはシミュレーターで表現し切れていない変形特性の部分もあるかもしれませんので、より実物に近いもので表現、検証していく必要かと思っております。

そこで、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つつ比較できなかということを考えております。この研究自体、まだ世界中の誰もやったことがなく、挑戦的な部分がございます。ラポナイトと呼ばれる透明粘土鉱物は、地盤工学の分野において時々実験で使われるものなのですが、この中の弾塑性状態の分布を評価することにより、シミュレーターの検証をしようと考えております。

弾塑性状態の分布を知る方法として、透明粘土鉱物内にカメラで撮る目標となる物体を入れることで、内部のひずみ分布をかなり細かく知ることができるので、そこから推定するという手法が一つございます。もう一つは、実際、その目標物自体も、粘土鉱物でないものを入れてしまっているという問題があるので、できればなしでやる方法として、屈折率変化で弾塑性状態を判定できないかということも挑戦的なテーマとして考えております。

弾性状態から塑性変形状態に変わると粘土鉱物が変形して元に戻らないので微細な屈折率変化が起きるのではないかと思われます。このような微細な屈折率変化を測定する方法として気体の密度分布を計測する手法がありまして、シュリーレン法と呼ばれるものがございます。これはその分野では確立された方法なのですが、これを透明粘土鉱物に適用することで、非破壊でかつビーズとか入れないで弾塑性状態の推定、評価をできたらいいなということで挑戦しようと思っております。これができますと、かなり精度よく弾塑性状態の水位分布というものを知ることができて、それに基づいてシミュレーターの検証をするということができるのではないかと考えております。今年度は、こちらの光学実験系の設計と組立てを実施する計画をしております。

以上でございます。

○事務局（齋藤） 事務局でございます。愛知先生、御説明ありがとうございました。

資料2-2についての説明は以上になります。

○杉田委員長 ありがとうございました。

ただいまの御説明に関しまして御意見、御質問等ありましたら、委員の先生方、お願いいいたします。

奥田先生、お願いいいたします。

○奥田委員 拓殖大学の奥田でございます。辻村先生、愛知先生、大変勉強になりましたありがとうございます。

素人質問で大変恐縮ですが、両先生の御説明を伺っておりまして、民間の井戸をかなり調査対象とされているのですが、そもそも民間の井戸がどこにどれぐらいあるのかというデータなり資料というのは存在していると理解してよろしいのでしょうかということが1点でございます。それを先にお願いできますでしょうか。

○辻村委員 まず私からお答えいたします。

確かに民間の井戸をかなり使わせていただいているところもございまして、都の環境研さんで井戸台帳から井戸の位置情報等を抽出された上で、採水等をさせていただく場合には事前調整が必要ですので、それにお応えいただけるようなところでお願いしていくというところが多いところでございます。民間の井戸といいましても事業所がほとんどで、様々な、小規模な店舗さんもありますし、あるいは大学の教育施設内等もございますが、そういった広い意味での事業所の井戸の基礎データは当然ございまして、それを基に採水地点を環境研さんで調整いただいて進めてございます。

○奥田委員 ありがとうございます。

もう一つございまして、地下水の流れ等について、辻村先生にお話しいただいたのですが、私のイメージだと河川でイメージしてしまうのですが、地下水も同様に、例えば本流があって、また支流みたいなのがあって、集水域があつてだんだん大きくなつていって、あるいはどこかで溜まっているようなところがあつてというようなイメージでよろしいのでしょうか。

○辻村委員 まずは、河川と地下水はつながっています。全てがつながっているわけではないのですが、つながっている場所も多くございます。ただ一方で、河川ですと基本的には高いところから低いところに動くので、重力に従つて動くだけで行きますが、地下水の場合は、

圧力の要素が関わってきます。河川や湖沼水では低いところから高いところに自然状態で動くということはあり得ないわけですが、地下水の場合は深いところから浅いところに動くということも当然ございます。

その前提に立って、地下水も流速が速いところと遅いところというのは当然ございまして、先ほど愛知先生が大変精密な水理地質の再現の説明をされてございましたが、地質側の条件によって、流れやすいところ、流れにくいところというのは当然出てまいります。さらに、地形の条件によって流れやすいところ、流れにくいところと、急勾配のところですと流れやすくなりますので、その両方の条件で流れやすいところ、流れにくいところというのが出てまいります。

溜まるという表現がいいかというのは微妙だと思いますが、ゆっくり流れているところというのは当然ございます。浅いところから深いところに向かう流れは、主に涵養域と呼ばれる、地下水が雨水から水を受け取るような領域で多いですが、一方、低地部などで多いのは、湧水はまさにそのとおりですが、深いところから浅いところに向かうような流れが出るという場合は、流出域としており、そういう流れもございます。もちろん部分的に地下水の流れが集まってくるというところはございまして、特に湧水などではそういった場合が多いのですが、そういう意味では河川の流れのようなイメージとはやや違うところもあるかもしれません。

○奥田委員 御丁寧にありがとうございました。

○杉田委員長 よろしいですか。

納谷委員、お願いいいたします。

○納谷委員 御説明ありがとうございます。地下水の現状と課題について理解することができました。

2つほど質問があります。1つは、地下水流动系の解明で、資料の11ページに関することです。地下水の三次元的な流れの可視化が課題という御説明があったのですが、ここで地下水の流れが示されています。ここだと恐らく主に上総層群に相当し、従来の地質構造、モデルとかが既にあると思うのですが、そういう地質構造で、大体この流れというものが説明できるものなのでしょうか。それとも、例えば、大体は説明できるが、この部分は説明が難しいとか、あるいは、そもそも地下の構造のデータが足りない部分があるとか、そういう部分は課題としてあるかどうかというのをお聞きしたいです。

○辻村委員 ありがとうございます。

地質だけではやはり説明が難しいと考えております。従来の水理地質的な考え方であれば、帶水層の構造がある程度分かって、帶水層の高いほうから低いほうに向かって地下水の流れが帶水層内で大体独立して動いていくようなモデルが、教科書的な説明かと思います。

この図で御覧いただいている中でも、例えば東久留米層の中だけでおおよそ台地の西の部分では流れているように見えますが、一方で舍人層から東久留米層に向かうような流れもございますので、帶水層の中だけで説明するのはやはり難しいのかなと思っています。特にここで言いますと、北多摩層のさらに下の、いわゆる基盤岩の表面が相対的には南西側から北東側に傾いているような部分がございますので、特に深いほうの地下水においては基盤岩面の形状が影響しているようにも考えられます。

一方で、浅い部分ですと、むしろ地形に沿った動きのほうがあるようになりますがこの図面でいきますと、ちょうど上側の水平図面の右側の深いほうの中央部では、地下水の谷のようなものも見えてございます。この部分はもともと水道水源の井戸もございまして、多少汲んでいるところもありますし、それと同時に基盤岩の表面が少し谷になっていますので、そういう要素もあるのだと思います。

ですので、シンプルに水理地質構造だけから説明するのはなかなか難しいかなというのが現時点での所見ではございます。

○納谷委員 ありがとうございます。

多分地質構造についても、地質側の課題もまだ残されている可能性もあるかもしれないですがここ20年ぐらいで、地下の構造をより詳しく調べられるようになっておりますので、そういう最新の知見で見直すと、もしかしたらこれまでと違う地質構造が認識できるかもしれないというのを今後の地質側の課題ですが、あるのかもしれないと思いました。ありがとうございます。

○辻村委員 ありがとうございます。

地下水の流れの観点から、地質のほうを修正するというのは決してないと思いますが、それを突合することによって、新たな技術というのは両方の面であると思いますので、別の観点で見えてくるところがあるのかなと今お話を伺っていて感じたので申し上げました。ありがとうございます。

○納谷委員 ありがとうございます。

それからもう一点ですが、これは資料でいくと20ページで、地下水揚水等の影響予測に関してです。ここで足立区のケーススタディーの図があって、ボーリングデータを使った地質モデルのほうをまず作成しているというところなのですが、産総研の地質地盤図というのがこの地域でもありますし、三次元モデルを作成しているのですが、そういう既存のモデルをこのモデルに何か活用できるとか、そういう可能性というのはあるのでしょうか。

○愛知委員 愛知です。御質問ありがとうございます。

ぜひ取り入れていきたいと考えているところでございます。まだ追いついていないというのが正直なところなのですが、まず、全体の流れとして、確率的な推計をしたいというところがって、不確実性の部分も含めて枠組みをつくるというほうに今まで注力してきたところがあります。実際には、その情報はもっといろいろなものがあって、そういうものを組み合わせることによって、確率分布をより精度を上げていくといいますか、適切なものにしていくということができると思っております。

特に産総研さんの三次元地盤図は大体地下100メートルぐらいのところまでかなり調べられていると思っていまして、特に沖積層基底面の形ですとか、そういったようなところについては、既にそれを横目で見ながら、実際、確率分布を求めるときに層序区分ごとに確率計算を分けたりしているのですが、そういう判定基準とかには既に活用させていただいてはおります。ただ、内部の物性分布に関しては、まだ取り込めていない段階で、これから、モデルをより精緻化、高度化していく中で、ぜひそういった情報は使わせていただきたいと思っております。産総研さんにも御協力いただいて、こういうモデルをつくるときに、使いやすいようなデータ形式みたいなものを何か御相談できたらありがたいなと思ったりしているところもございます。

○納谷委員 ありがとうございます。

そうですね。多分うちで作成したデータも、東京都さんと共同研究で行って、データ自体は恐らく同じデータを参照していると思いますので、お互い活用できると、よりいいものができる可能性があるのかなと思いました。

○愛知委員 そうですね。私自身、ここまでやってきた部分では、本当にいわゆる機械的な確率の話しかしていなくて、実際に地質学的解釈も含めた確率分布にしていきたいと思っています。

地質地盤図を作られた方の考え方というか、そういうものをうまくコンピューターに翻訳

して入れていく、その過程で、地下水とか地盤沈下の観点で合うためにはどうしなければいけないかということもございます。地盤沈下の観点ですと、泥層の分布というのがすごく重要で、どれぐらいの厚みで何枚入っているみたいなことは結構重要だったりするので、そういった視点で意見交換しながら、どういう形で取り込んでいくかということをぜひ議論させていただきながら、うまく活用していきたいというのがあります。よろしくお願ひしたいと思っております。

○納谷委員 ありがとうございます。

こちらもぜひ御協力できることがあれば、そういう議論をしていきたいと思いますので、よろしくお願ひします。

○杉田委員長 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見等ありましたらお願いいたします。辻村先生から愛知先生とか、愛知先生から辻村先生も大丈夫ですか。

○辻村委員 ありがとうございます。

以前にも少し個別で議論をさせていただいたところもあるのですが、19ページで地盤沈下の再現モデルの成果というのを示されていて、ここまできっちり合わせられている成果というのを私は初めて見るもので、非常に印象深く思っています。

この真ん中の図面、特に下の図に、観測値と、それから再現値を並行して示されているところですが細かく見ていくと、全般としてよく合っているところもあるのですが、観測値のところで一部すっと下がって、その後リバウンドのように少し回復してというのを何回か繰り返しています。その戻り幅が小さくなっているというのは、もしかすると、そういうところが本質的な現象を表している部分なのかもしれないと思いました。そこら辺の不一致のところに現象の本質がある可能性もあるのかなと思いましたので、愛知先生の御所見があったら、御教示いただけないでしょうか。

○愛知委員 ありがとうございます。

ずれている場所については、私自身も少し気になるところではありますいろいろ考えてみたのですが、まず一つは、数値計算の解析結果の青い線の形状というのは、地盤沈下観測井において観測していた地下水位の変化からすると、非常にリーズナブルというか、こういう挙動になるべきだろうと思われるようなもので、入力したデータに対して素直に計算した結果だと思っております。

では、そこからずれるのは何かといいますと、恐らくですが、地下水位観測井、観測していない帶水層の水位変動の影響というのがあるのだろうと思います。振幅自体は小さいのですが、実は計算上も微妙に追随しようと頑張っている部分もあったりします。それは何かというと、恐らくこの時期に何らかの原因で渴水だったりとか、いろんな原因があるのだと思うのですが、全体的に地下水利用が少し増えたりとか、あるいは減ったりとかということがあって、それがどの帶水層に対してどういう案分で行われたかということはよく分からないのですが、今観測している帶水層ではこの程度の変動しかなかったため、それを素直に入力値として計算するとこういう結果になるということです。ただ実際は、舎人観測井ですと、何百メートルという中で、実際の観測している帶水層が数か所、深度方向の情報がそれぐらいの密度しかないということで、恐らく観測していない帶水層の変動分が結構関与しているのではないかなと思っています。

ほかに考えられるものとしては、近隣の工事などの影響もあるのですが、今舎人観測井で見ているような、こういうシグナルは、どちらかというと観測していない帶水層の水位変動の影響を反映していると思います。季節変動のパターンとかに関して言うと、自然なところで振幅が大きくなっているので、そうすると人間活動ではありますが、揚水パターンの変化みたいなものを自然に反映したものが観測データでは強く出ていて、たまたま舎人観測井、観測していた帶水層ではここまで顕著ではなかったということが計算に反映されてそれが生じていると現時点で解釈しています。

このことも、実は後段の地盤沈下の塑性判定のところで結構難しい要素だと思っていまして、現在の観測方法は、およそ1点のスクリーンと、それから100メートルとか200メートルという単位の長さでのエクステンソメーターで合計の変形量を見ています。持っているデータの代表性がネックで、こういう思いがけない変形が起こってしまうことがあり得まして、これが一時的なものなのか、つまり後で戻ってくるのか、そうではないのかというところは、実地盤ではさらに難しくなると思っています。

この舎人観測井のグラフの真ん中辺りで、地盤沈下観測値が急激に2年ぐらいにかけて下がっているところがあり、このままこの傾向が続いたらどうなるだろうかと思ってしまうところですが、次の年に戻るということが起こっていて、これを判別できるのかというのは後段のことを絡めて考えると結構根深いというか、本当にどうやっていくか考えていかなくてはいけないことかなとは思っています。

台湾の地盤沈下観測井で採用している磁気式沈下計は、鉛直方向に高密度でひずみ分布が見られるので、そのような磁気式沈下計によるモニタリング方式を検討するなど、いろいろハードウエアのほうも含めて考えていく必要もあると思っています。こういうすれば、どこかの観測所で計算しても大体生じますので、そこはおっしゃるように本質的な問題だとは思っています。

○辻村委員 ありがとうございました。

今、前半の説明を伺いながら後段のところにつながるのかなと思っていたので、逆にこういった事例を積み重ねていくことで、後段のモデルで塑性と予測ということと同時に、既存データを使ってこういった事例を積み重ねていくことで、ある程度見えてくるものがあるのかなと思いましたが、それはそれで難しいということも愛知先生から伺っているので、なかなか大変だと理解はしております。ありがとうございました。

○愛知委員 ありがとうございます。

機械学習等も含めて、幅広くあらゆる技術を使ってうまく判定できるようにしていきたいなと思いました。機械学習の部分は未成熟なところがありまして、今日の発表には含めなかったのですが、そちらの活用も含めて幅広く検討していきたいと思っております。

○杉田委員長 ありがとうございました。

そのほか、御意見や御質問等ありますでしょうか。よろしいですか。

そうしたら、私からお伺いしてもよろしいでしょうか。最初、辻村先生の御説明の中で、先ほど納谷先生がおっしゃったところと一緒にですが。11ページです。1つは、今年詳しく調査されるという、台地から低地にかけてのところなのですが点線が下の断面図には入っています。何か構造線が多分あるのだろうなと、納谷先生が御専門かとも思いますが、ここに関しての地質情報というか、大きく地下水流れも切れているように見えて、水質的にもそういう地質情報というのがあるのかというのをお伺いしたいです。

それから2つ目は、三次元可視化の目的です。都民の方にお見せするためなのか、それとも専門的に何か御研究のためなのかという、その辺をお伺いしたいです。お願いいたします。

○辻村委員 ありがとうございます。

以下の部分で見せてている図面かと思います。地上の部分は台地と低地の境界線という意味で破線が引かれていますが、地質断面の中にある破線は、データが少ないので、等水理水頭線の比例配分をするとそこに入ってくるであろうという点を入れているところです。

この断面で見ると、まず構造的という意味では、台地と低地の間に、場所にもよるのですが、明確な構造があるというよりは、台地と低地の境界部分で帶水層の勾配は明らかに変わっていて、台地と低地の境界で、特に低地のほうですと帶水層の勾配は、全体としては南西から北東に向かうような急勾配に勾配は変わっておりますが、いわゆる構造線、断層のようなものが明確に走っているわけではありません。これは場所によるのですが、台地と低地の境界部では、北の部分では水理水頭に明確な不連続はなくて、むしろつながっているように見受けられますし、無機溶存成分や酸素安定同位体比も比較的連続していますので、北の部分はむしろつながっていると考えたほうがいいと思います。

一方で、南東の部分になりますと水質は明確に違ってきてはいるので、例えばこの断面で見ているときも、深い部分、例えば北多摩層にかすっているような部分は、水質は低地でも台地でも同じですので完全に分断しているわけではないと思いますが、浅い部分の地下水までも連続しているかは、データが少ない中で、この図では無理に書いていますので、まだ検討が必要のかなと思っています。ですから、構造的な違いはないということと、場所によって違うということだと思います。

三次元可視化の部分ですが、この成果を都の施策にきちんとした形で反映させるためには、やはりこういった図を水平と鉛直で積み重ねていくのも大事なのですが、そこからもう一歩、政策決定の皆様、あるいは都民の皆様に分かりやすく見せるためには少し通訳が必要なのかなと思っていますので、主な対象として考えているのは、まずは担当課の皆様が分かりやすいように見ていただくということとともに、さらに、その方々が都民に、あるいは我々が直接の場合もあるのかもしれません、都民の皆さんに分かりやすくというところが2段階ぐらいあると思っていまして、まずは政策決定者の皆様に分かるように、そして都民の皆様に分かるようにというところを目指していく必要を考えて作業しているところでございます。

○杉田委員長 ありがとうございました。とてもよく分かりました。この空中にあるほうの点線のところも分かりましたし、それから、三次元的に可視化するというのは、専門が違うともうよく分かりませんので、非常に効果があるのだろうと思います。ただ、難しいだろうなと思いました。ありがとうございました。

愛知先生にも伺ってもよろしいでしょうか。

最後の塑性変形のところですが、どこで揚水を止めるかというお話がありましたが、これは全部シミュレーションということですので、前もって分かるわけですね。これだけの揚水

をしていたら、何年後には塑性変形に入るからという理解で正しいですか。

○愛知委員　これは数値シミュレーションで、勝手に土質条件とかを設定したものなので、計算上、ここで塑性変形が開始するということは決定論的に決まってしまうというか、確実に決まるものなのですが、その中で、これを知らないで、もしモニタリングデータとして地盤変形量だけを見ていたら、それを我々は判別できるのだろうかというのが問い合わせになっております。

○杉田委員長　でも、それはできないという答えですよね。

○愛知委員　はい、容易ではございません。何となく地盤工学で、 $e-\log p$ 曲線みたいな形で明確に現れるのかなと私自身も想像していたのですが、残念ながらそうではなかったということがありまして、容易ではないということです。しかしながら、容易ではない中でうまく管理しながらやっていくということを考えなくてはいけないと思いまして、その中で何ができるかということを、実際に地下水利用再開ということが始まる前に方法論を何とかしていきたいという、そういうモチベーションになっております。

○杉田委員長　別のシグナルというか、別 の方法でシグナルをもって検知するということですね。

○愛知委員　そうですね。いろいろなモニタリング手法等の改良も含めて検討していきたいと考えております。あとは、塑性変形が開始したからといって、必ずしも即座に何センチも恒久変形が残るというわけでもありませんので、例えばいろんな手法で気づいてから、そこで止めたとして、残る変形量が数ミリだったら、それなら許容できる手法かなとか、そういうようなことを考えていくということなのかなと思っております。

まだ始まったばかりで、私自身もどれぐらい何ができるのかというのはこれから検討していくことではあるのですが、何か今まで漠然とモニタリングしておけば安全なのではないかと思っていたのが、そんなに簡単でもないかもしれないというところで、これは詳細に検討しておいたほうがいいなと思ったところです。

○杉田委員長　そういうことが分かったということは、本当にすばらしいというか、面白いと思いました。

あともう一点、局所モデルのことでお伺いしたいです。21ページで、トレンドを持った不均一性というのはすごく面白いと思ってお話を伺っていたのですが、その確率論の中に実際のデータとか決定論的なものを組み入れていくというのも、すごく面白いと思ったのですが

このメッシュの形は200メートル×200メートル×1メートルなのですか。

○愛知委員 そうです。今、この地質モデル上はそうなっています。

○杉田委員長 技術的な話なのですが、揚水はどのように入れるのでしょうか。200メートル×200メートル×1メートルというメッシュで大丈夫なのでしょうか。

○愛知委員 どれぐらいの解像度で物を見たいかということと、それからもう一つは、どうやって、例えば200メートル×200メートル×1メートルというメッシュに対して揚水量を割り振っていくのかという2点があると思うのですが、正直なところ、まだ現時点ではどれぐらいの解像度で見るべきかということに関してはよく分かっておりません。最初の出発点として広域モデル側のメッシュサイズ等もありますので、そこからどれぐらい解像度を変化させられるかということを考えたときに、ちょうど5対1というのは分かりやすく、手法上、奇数対1というのがいいので、そのような形でなっています。200メートルという数字は実は仮置きということになっています。

200メートル×200メートルのメッシュの中の揚水量の割り振りについては、結局そのメッシュの中に入っている井戸は、メッシュの中央に寄せ集めて合計するような形になってしまいます。鉛直方向の分配も難しいところなのですが、モデル設定上の透水係数に応じて分配することで、おおよそ近似できるのではないかということを、都環研の平野さんとかいろいろ検討して、現時点では思っています。厳密に言うと透水係数の分配だけでは表現し切れない部分もあるのですが、比較的長期のシミュレーションでこの解像度でやるのであれば、おおよそそれでいいけるだろうと考えて、今は機械的にそうやって割り振るような形で表現しているこうと思っております。

○杉田委員長 ありがとうございます。

では、最後1つだけお伺いします。こちらの局所モデルはアンサンブル20ぐらいと書いてあったのですが、20ぐらいの御予定なのですね。

○愛知委員 はい。努力目標みたいなところもありますが。

○杉田委員長 20ぐらいでアンサンブル平均を出すということですね。

○愛知委員 そうですね。いろんな分布で大数の法則が利いてくるのは20ぐらいからというのがあって、統計分析をしていく上で、これぐらいはないとまずいのかなと思いつつ、20つくるのは結構時間がかかるというところもあるので、悩みつつというところです。

○杉田委員長 すごく大変だなと思いました。23ページの図に記載されている数値モデルに

よる仮想条件での予察的検討では、これは線の数だけなので、もっとたくさんアンサンブル平均をされたのですか。

○愛知委員 これはもっとたくさんです。これは50ぐらいあります。

○杉田委員長 50ぐらいでやって、こういう結果になる。

○愛知委員 はい、そうです。

○杉田委員長 なるほど。この重みづけはどういうふうにされているのでしょうか。

○愛知委員 重みづけは、ベイズ統計学に基づいて行いました。再現性に基づいて重みづけする手法という既存のものがありまして、これとは違う目的で開発されたものではあったのですが、それぞれのモデルの意見の重みづけをどうすべきかみたいなものを別途行った研究が石油系の分野にあったので、それを借りてきました。実はこの重み付けの方法も、それが唯一解だとは思っていないくて、実際には、例えば純粋に誤差が正規分布であるとか、そういうようないろいろなシンプルな仮定に基づくもので、本当にその間、地盤沈下量や地下水位観測データに対して、それがフィットしているのかは分からないところもあります。

例えは、先ほどの辻村先生の質問に対する回答とも重なってくるのですが、この重みづけの仕方を機械学習したらどうかなとか、そんなようなことも考えたりしております。

○杉田委員長 理論があるということですね。

○愛知委員 はい。理論がございます。

○杉田委員長 ありがとうございました。時間となりましたので、事務局には本日の御意見を踏まえて、地下水の実態把握等の取組をお進めいただければと思います。

以上をもちまして、本日予定されておりました議事を終了いたします。

そのほか、事務局のほうから連絡事項などございましたらお願いいいたします。

○水環境課長 事務局です。特に連絡事項等はございません。

○杉田委員長 分かりました。

本日は、大変活発な御議論をいただきまして、皆様ありがとうございました。

以上をもちまして令和7年度第1回地下水対策検討委員会を閉会いたします。

午前11時59分 閉会