日本技術士会　中部本部　岐阜県支部
令和３年７月講演会メモ

日時：令和３年７月３日（土）　１３：００～１７：００
場所：　Zoom システムによるウェブ講演会
後援：岐阜大学工学部、岐阜工業高等専門学校
ウェブ参加者：会員４１名、来賓講師１名、事務局１名；　計４３名

司会：高橋　保浩（建設）　　メモ作成：会員講演　原　善一郎（会員講演講師、情報工学）
来賓講演　田島　暎久（航空・宇宙）

岐阜県支部長の挨拶
　今月、新支部長に選任された藤橋健次氏が就任の挨拶。

１．会員講演
演題：「量子コンピュータで何ができるか」
講師：原善一郎技術士事務所　所長　原　善一郎 氏（情報工学部門）
講師紹介：早稲田大学大学院理工学研究科オペレーションズリサーチ専修　工学修士。1979 年 3 月～2020 年 1 月 太平洋工業株式会社電算課、システム企画部、監査室、技術開発部を歴任。2020 年 5 月にソフトピアジャパンにおいて原善一郎技術士事務所を開設。専門分野は情報処理技術、情報システム監査、情報工学。
講演概要：Society5.0 が具体化し、同時に SDGs に取り組むとき、IT 利用に頼る面が大きくなる。特に、コンピュータの計算能力とその利用法の革新が必要である。これを踏まえ、量子コンピュータとは何か。その特徴、利用などを考える。

講演内容：

1. はじめに
1.1 量子コンピュータの定義
　量子力学を計算の原理に応用したコンピュータ
　（「スパコン富岳」後の日本　小林雅一　中公新書ラクレ（中央公論新社）2021 年 3 月 10 日発行
　※「第５章　ネクスト・ステージ　量子コンピュータ　日本の実力」）
1.2 当講演の結論
①：コンピュータ利用ニーズは爆発的に増えていく。
　解決策の一つとして量子コンピュータがありうる。
②：従来では破られなかった暗号も量子コンピュータで破られうる。
　安全と便利さのバランスは永遠の課題である。
③：現在の量子コンピュータは生まれたばかりである。
　社会に役立つ実用的な問題を解くという実用化レベルではないが、将来の成長と活躍に期待したい。
　⇒予想外・想定外の活躍が近未来に起きるだろう。
1.3 量子コンピュータに関連する用語
　量子、量子ビット、量子ゲート方式と量子インジング方式、量子アニーリング方式、量子ニューラルネット方式、量子並列性、量子加速、波束（確率分布）の収縮、量子超越性、量子もつれ、量子重ね合わせ、電子のスピン（角運動量）、光子の偏向、超電導量子ビット、NP 困難、最適化問題、耐量子計算機暗号、多変数多項式暗号、格子暗号、同種写像暗号
1.4 本日の講演の流れ（目次）

２：IT にどんなサービスをしてほしいか
３：IT 自体はどんな変化が必要か
４：解決策としての量子コンピュータの使われ方予想

（さて、最初は目次 2 の IT に対するニーズの変化についてです。3 つの視点で考えます。）

2. IT にどんなサービスをしてほしいか

2.1　Society 5.0 が具現化
2.2　SDGs に取り組む
2.3　IT 利用に頼る

（最初は、社会構造の変化です。）

2.1　Society 5.0 が具現化

情報処理から見る Society1.0～5.0 は次の通りです。

Society1.0 狩猟社会ごく小さい集落内の情報交換
Society2.0 農業社会気象・新技術で情報交換は広がる
Society3.0 工業化社会技術の集積、材料・商品情報も流通
Society4.0 現代高度情報社会、クラウドサービス
Society5.0 近未来地球上のどこに住んでも大差ない
クラウドからの情報サービスが大きい
システムや情報がクラウド内で接続

特に、Society4.0 から 5.0 への変化は、クラウド上でコンピュータ同士、情報同士が接続し、影響し合い、それが多層化、複雑につながり始めています。
特に、社会で大きなきっかけがあると、大きな変化が起きます。最近のパラダイムシフトを振り返ると次の通りです。

1995 年阪神淡路大地震：通信媒体革命
2011 年東北大地震：単独のシステム情報を集約し分析→新しい情報を作る
（カーナビの問合せ情報を情報交換し、通行実績のある道路地図が提供されました。）
2020 年 COVIT19（現在）
リアル会議、勤務　→　バーチャル会議、勤務
情報やサービスをネットワーク経由で行う。
距離と時間を超えて打ち合せや情報登録が行われ、リアルの限界を超えて業務が進んでいます。
暗号化通信網の中で、鉄道や飛行機の切符の予約と支払い、ホテルの予約と支払い、取引先への資料準備と事前送付、車内への連絡と承認。出張先で、社内のキーマンもバーチャル同行。
移動中の乗り物中で社内や他の取引先と連絡。自宅のビデオデッキに録画予約と視聴。AI で分析されたおすすめ Web セミナー情報を受け取り、予約、支払い、セミナー資料受取り。外国語への通訳など、出張も大きな変化が進んでいます。

現在起きている情報処理面での社会の変化は、IoT に代表されるように、きめ細かい情報がクラウド上へ収集され始めていることです。これらの情報を集めて、組み合わせた情報を加工して、コンシェルジェサービスやセクレタリーサービスがスマホ経由で提供されたら、再び大きな社会の変化が起きるでしょう。

（次は、地球規模の課題に取り組むことです。人類の緊急課題です。）

2.2　SDGs に取り組む

SDGs の例は次の通りです。

質の高い教育をみんなに
「すべての人々へ包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する」
産業と技術革新の基礎をつくろう
「強靭なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及び技術革新の推進を図る」
気候変動に具体的な対策を

「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」
その他多数あります。これらは、一人一人が取り組むことです。しかし、個人個人がばらばらに取り組むよりも、世界規模で連携して取り組むほうが良い面もあります。

（Society5.0の実現やSDGsの取組みに、ＩＴが大きな道具となります。そこで、ＩＴの特徴に着目します。）

2.3　IT利用に頼る

次のことは、ＩＴが普通の生身の人間を超えることであり、IT利用効果が大きいポイントです。

a 記憶（記憶して、正確に思い出す）
b ルーチン化された計算力
c 記憶と計算の組み合わせ
d 伝達距離
e 伝達速度
f センサーとアクチュエータ

（IT へのニーズの変化に対応して、IT 自体はどんな変化が必要でしょうか。コンピュータの計算処理能力の視点と、具体的にどのように変化してきたかを見ましょう。）

3.IT自体はどんな変化が必要か

3.1　必要な計算処理能力（この項目はコンピュータの機械的な側面を少し覗いてみましょう。）

従来のコンピュータは高速に大量の計算をします。しかし、詳しく見ると、０か１を表現するビットを集めて数字を作り、足し算をしています。引き算、掛け算、割り算、データ比較、検索、情報加工まで、すべての計算は、複雑な方法で細分化して足し算をしています。例えば、引き算も引き算ではなく、引く数字を補数に変換して足し算をしています。従って、電卓程度の簡単な計算から膨大なデータベース検索や多次元ベクトルの計算まで、すべて大量の足し算を行います。

これらは、膨大な情報を大量に計算して結果を出します。しかも、出力される結果が利用可能なタイミングで出される必要があります。例えば、カーナビでは、自動車の移動よりも早いタイミングで次に進むべきルートが出される必要があります。データの組み合わせが指数関数的に増えた場合、従来のコンピュータでは処理時間が長引いてしまうため、実用的でなくなってしまいます。

しかも、0か１を表すスイッチのONとOFFです。従って、電流の流れる速度と発熱があり、それらにより限界が発生します。コンピュータの弱点になっていきます。
従って、そもそも、０と１の表し方やそれらの計算方法を根本的に変える必要があります。

（次に、コンピュータの利用の歴史を振り返り、その延長線として今後の利用の拡大を意識します。）

3.2　コンピュータの利用法の革新

【コンピュータが開発され、実用化された】
1946年　ENIACは世界最初の汎用電子式コンピュータ　戦争にかかわる計算で利用
【一般企業でもコンピュータが利用され始めた】
1960年　国鉄　座席予約システム
1970年　大阪万博で漢字出力の展示
【部門別でオフィスオートメーション用のコンピュータが導入された】
1980年頃　パソコン、ワークステーションなどの個人で占有するコンピュータが出回っていた。
1990年頃　顧客との間でEDI接続。
【一人一台のパソコン導入、インターネットの普及】
1996年　一般企業でもインターネットへ常時接続
1998年頃から　社員に会社のemail付与。紙の連絡票禁止。
【海外子会社を含むグループ企業内ネットワーク】
2000年頃から　海外の子会社もインターネット常時接続。VPN網。グループ内TV会議。
2000年頃から　出張時は、社外からVPN接続し、email受信。
2005年頃から　出張時宿泊ホテル情報収集

2021 年では、　ホテル予約、新幹線予約、航空券予約もクラウドサービス利用。

【将来は】

「北海道へ出張に行かなければ・・」と入れると、

コンピュータが「出張先のアポの確認」「出張先の好みの検索」「ホテルや交通機関の案の提示と予約」「ついでにやるとよさそうな仕事の提案」「出張中の仕事の補充の手配」「予算の確保」などの他のシステムとの連携をしてくれるかもしれません。さらに、現在とは比較にならないほどの高精度な天候や交通渋滞予測、リスク回避の方法の提案もされるかもしれません。

現在では、大まかな計算方針はわかっていても、データの収集や計算が間に合わないことも多くあります。これらは、AI、ビッグデータ、データやシステムの組み合わせの検索などであり、膨大なデータと計算が必要だからです。

（爆発するコンピュータ処理のニーズに対する解決策として、量子コンピュータが期待されています。最初に、量子コンピュータの定義や構造を見てみます。そして、その特徴を確かめます。最後に、ここまで見てきたニーズや社会の変化に対応していく形を予想します。）

4. 解決策としての量子コンピュータの使われ方予想

4.1　量子コンピュータとは何か

量子コンピュータの定義

量子力学を計算の原理に応用したコンピュータ

量子とは、粒子と波の性質をあわせ持った、とても小さな物質やエネルギーの単位のことです。物質を形作っている原子そのものや、原子を形作っているさらに小さな電子・中性子・陽子といったものが代表選手です。光を粒子としてみたときの光子やニュートリノやクォーク、ミュオンなどといった素粒子も量子に含まれます。（文部科学省の Web サイトより）

量子力学は、量子はどういうルールで動くかの説明です。下記の Web サイトをご覧ください。

（パーソルテクノロジースタッフの Web サイトより）

https://persol-tech-s.co.jp/i-engineer/interesting/ryoshirikigaku

※著作権保護のため、転載できません。

従来のコンピュータと量子コンピュータの違いを見てみましょう。

従来のコンピュータは、スイッチで表される０か１のビットという単位で足し算をします。すべての処理はこのビット単位での足し算に分解されます。すなわち、従来のコンピュータは「ビット」が最小単位です。これに対して、量子コンピュータは「量子ビット」です。

「ビット」は０か１のどちらかを示すものであり、「量子ビット」は０でもあり、同時に、１でもある（但し、観測するとどちらかに固定される）。従来のコンピュータの「ｎビット」は２のｎ乗の数字を表すが、一時点では一つの数字しか表していません。

しかし、量子コンピュータの「ｎ量子ビット」は２のｎ乗のケースを同時に実現します。10 量子ビットあれば、1024 台の従来のコンピュータを同時に計算で使うということと同じになります。

この違いにより、「量子並列性、量子加速（コンピュータ自身が分身を作っているようなもの）」という現象が出てきます。

これが処理の高速化の一つの要因です。一台のコンピュータが一つの計算で限りなく多くの組み合わせの計算をするということです。

このことが、量子超越性と呼ばれる「従来のコンピュータの処理の限界を量子コンピュータが超える」状況を作りだします。

但し、観測時には、波束（確率分布）の収縮が起きて、1 つのケースの結果しか得られません。最適な経路を計算するということに使う場合は、1024 通りの結果が出てくるのではなく、最適な結果一つだけしか取り出せません。

量子ビットの作り方は、2通りが提案されています。
　電子のスピン（角運動量）：超電導回路を使って作り出しているものを超電導量子ビットという。
　光子の偏向：レーザー光を利用して作る

量子ビットの特徴で量子コンピュータでの計算にかかわる重要な概念は次のとおりです。
　量子重ね合わせとは、量子の情報が０と１が重なった状態を作ることです。大量のデータを逐一計算しなくても、同時に計算することができます。
　量子もつれとは、複数の量子間で起こる現象です。一方の量子を測定すると一つの状態が確定するが、そのこと自体がもつれ関係にある他の量子の状態を確定するという現象です。

量子ビットへの情報入力と出力に関する方式には次のものがあります。
　量子ゲート方式と量子インジング方式です。
　ゲートとは、0か１のスイッチを切り替えるところ。
　量子ゲートとは、量子の０と１の確率を切り替えるところ。
　量子ゲート方式は、従来のデジタル計算方式のコンピュータに近いです。
　　しかし、不安定であるため、誤り訂正の考慮が重要です。

量子コンピュータの実現方式で近年はよく使われている方式に、量子インジング方式がります。
量子インジング方式には、量子アニーリング方式と量子ニューラルネット方式があります。インジングモデル（磁性体の性質を説明するために用いた統計学上の単純化モデル）は、上向きか下向きの状態をとる格子点で構成され、個々の格子点は内部エネルギーが高くなるにつれて隣接する格子点の影響を受けながら、最低エネルギー状態になります。この特徴により、最適化問題へ応用ができます。

量子アニーリングは、量子の０と１の確率を徐々に変化させて安定するところへ導く方式で、焼きなましともいわれます。量子アニーリング方式はアナログ計算方式に近い方式です。
量子ニューラルネット方式は、ニューラルネット（神経回路網）を量子回路として組み込みます。

（以上の量子コンピュータの構造から、どのような特徴があるかを考えます。）

4.2　量子コンピュータの特徴

　複雑で膨大な組み合わせから最適なものを探すことができると、次の問題が解けます。
　　NP困難（巡回セールスマン問題など）、最適化問題、素因数分解。
　　　素因数分解は、現在の暗号を解読する手法で使われます。
　大量のデータを同時に処理する、また、大量のデータから検索することができます。
従来のコンピュータでは実現できない速さで計算できます。（数十倍から１億倍以上という発表もある）
　計算時間がかかりすぎると計算結果をほしいタイミングに結果が出てこないという問題の解決策として重要な特徴です。

（このような量子コンピュータの特徴が役立ちそうな分野は次の通りです。分野自体は現在も解決しようと努力が進められているものです。しかし、将来は処理速度や複雑さが桁違いに大きくなると予想されます。）

4.3　量子コンピュータの利用（直近で期待される分野）

大量の計算処理が必要な分野の代表例は5つあります。
　　①【AI　ディープラーニング】
　　②【組み合わせ最適化問題】
　　③【暗号】
　　④【検索の高速化】

⑤【量子科学計算で分子構造が安定する状態を求める】

①【AI　ディープラーニング】

ディープラーニングの構築分野が広範囲で複雑なものも実現できるでしょう。

ディープラーニングによるシステムの構築手順は次の通りなので、大量データの高速処理が必要です。

構築したいAIシステムを決める

→大量の教師データと検証データを集める

→AI用のパラメータを予想して、大量に組み合わせていく

→教師データを読ませてAI内部にパラメータを生成させる。

→検証データで結果の正しさを確認する。

→うまく行くところまでパラメータの初期設定を変えて繰り返す。

AI応用の未来予想です。

《大地震》大量の観測データを集めて、2分後の大地震発生を予測。３０分前に予測。1時間前に予測。地震発生の2分前に正確に予測できれば、日本中の新幹線を急停止できます。30分前ならば、新幹線も他の鉄道も安全なところに安全に停止できます。津波でも、確実に30分前に知ることができれば、多くの人が逃げられます。1時間前に確実に予想できれば、発電所や大規模ダムでも、かなり安全対策ができそうです。

《台風や水害》1時間前に土砂崩れや堤防決壊場所を予測。

1時間前に予測できれば、命を落とす人がほとんどいなくなる可能性があります。

《広域災害》被災者の支援方法計画。ドローンや衛星写真の画像処理。地中のセンサー。磁場計測。物流動向。大災害時の支援は、ニュースで伝えられていない状況が現在はあります。必要な支援を正しい優先度に沿って提供できれば、復旧や復興もスムーズに進むでしょう。

②【組み合わせ最適化問題】

従来から組み合わせ最適化問題は、研究も進んでいますし、実務でも数多くのノウハウが実現しています。しかし、それでも、効率がよくて無理のない結果を必要なタイミングに作り出せているかというと、まだまだ改善の余地があります。無駄をなくすだけで、SDGs の項目に大きく貢献すると考えられます。

さて、具体的な課題の例は次の通りです。

物流配送：宅配や工場間の材料移動

勤務シフトの最適な組み合わせ

混流生産ラインでの生産順序計画

③【暗号】

コンピュータで使われている現状の暗号には問題点があります。

公開暗号方式の場合、素因数分解が短時間で行われると秘密鍵を計算で取り出せる。現在は現実的な時間では計算できないレベルですが、これが量子コンピュータでは瞬時に説くことができる可能性があります。

対策として、量子コンピュータが実現すると次の方式が出てきます。

耐量子計算機暗号

多変数多項式暗号、格子暗号、同種写像暗号

量子テレポーテーション

但し、情報の受け取り手が送られた情報を解読できるということは、絶対に破れないセキュリティを作ることは不可能です。

④【検索の高速化】

現在でも検索の高速化が日々進んでいます。これが桁違い（10倍、100倍、1000倍）の速さになるかもしれません)。大量の情報から欲しい情報を適切に探す。入力した検索キー以外の検索者の情報を加味して、検索順序や結果表示を並び替える、ということですが、専門家集団の翻訳や業務知識も加えて検索できる

と、現在の検索結果とは異なってきます。
薬剤検索では、世界中の薬剤とその効果、治験状況の薬剤、薬剤同士の類似性、公表された論文の内容を加味して結果が出ると、適切な薬剤を的確に利用できる可能性があります。
カーナビのルート検索では、最新の地図、現在の交通量だけではなく、交通量の変化予測、カーナビ情報を利用しているすべての人の行動予測、現時点の事故や天候の状況も加味して、最適ルートの提案も提供される可能性もあります。

⑤【量子科学計算で分子構造が安定する状態を求める】
「分子構造が安定する状態」は現在の計算機や計算方法で計算できない程度の大掛かりなものも、計算できるようになります。応用分野は、材料開発、ワクチン開発、新素材開発、超高性能バッテリー開発、創薬です。

5.まとめ

【開発の進捗】
カナダの D-Wave は量子アニーリングコンピュータを開発し、納入が開始されています。10 億円程度ともいわれています。
IBM は汎用近似量子コンピュータを発表しました。
グーグルは量子ゲート型の量子コンピュータで開発中です。
日本では、NTT、富士通などが研究中です。

【人間を超えられるか】
特定の側面をとらえると、すでに機械は人間を超えています。
将棋は、最初の一手をとったものが完全に勝てるようになるかもしれません。（しかしそれは同時に、将棋が単なる丁半博打と同じになるということです。）

6.参考文献とその内容
（下記に、参考文献を掲載しました。Web サイト参照や図書館で検索いただき、さらに詳しい情報を収集いただければ幸いです。）
【量子コンピュータの解説】
①ウィキペディア　「量子コンピュータ」　※歴史と構造の説明
②IPA　ニューヨークだより 2019 年 3 月（IPA 鷲見拓哉、JETRO 中沢潔）　「米国における量子コンピュータの現状」 ※量子コンピュータが適用される分野、量子コンピュータの構造、世界の投資状況、具現化状況を解説している。
③「スパコン富岳」後の日本　小林雅一　中公新書ラクレ（中央公論新社）2021 年 3 月 10 日発行　※「第５章　ネクスト・ステージ　量子コンピュータ　日本の実力」で量子コンピュータの概要を記載。また、日本の科学者の活躍も述べられている。
④トコトンやさしい量子コンピュータの本　山崎耕造　日刊工業新聞社 2021 年 1 月 22 日発行　※見開き 2 頁毎にテーマを作り、文章 1 頁、図 1 頁で記述され読みやすい。量子コンピュータの構造と現状と未来への期待が述べられている。
⑤米国科学・工学・医学アカデミーによる量子コンピュータの進歩と展望　Emily Grumbiling,Mark Horowitz 編　西森秀稔訳　共立出版 2020 年 1 月 15 日発行　※コンピューティングの進歩、新たなパラダイムとしての量子コンピューティング、アルゴリズム、ハード、実現可能性と時間スケールが記載されている。
⑥暗号と量子コンピュータ　～耐量子計算機暗号入門～　高木　剛　オーム社 2010 年 8 月 25 日発行　※量子コンピュータが実現したときに従来の暗号が解読されやすくなる問題がある。この点を解決するための技術を解説している。
【社会の変化とコンピュータのかかわりの予測】
⑦2030 年の第４次産業革命　尾木蔵人　東洋経済新報社 2020 年 2 月 13 日発行　※第４次産業革命では、コ

ンピューティングパワーをビジネスモデルに取り入れている。（グーグルやアップル）。処理能力が増え、スマートダスト（小型化したコンピュータやセンサー）が大量の情報収集と処理を行う。
⑧データ・ドリブン・エコノミー　森川博之　ダイヤモンド社 2019 年 4 月 3 日発行　※データドリブンエコノミー（データ駆動型経済）が社会を大きく変える。今までは Web から得られたデータをうまく利用した企業が競争優位に立ったが、アナログプロセスをデジタル化し、有効活用する。他の業界も絡んだシステムを構築することで新たな価値を生み出す、ことを紹介している。
⑨あと 20 年でなくなる仕事　水野操　青春出版社 2015 年 4 月 15 日発行　※コンピュータの進化による職業の構造の変化を予想している。

Q & A
Q：電子のスピンを変更するという方法について、よく分からないです。
A：先ほど紹介した本によれば、量子としての動作をしている電子は、1 カ所に留まっているのではなく、電子自体がスピンをしながらスピン角度が変わる。その角度は 0 と 1 とその中間の角度があり、何かエネルギーを加えて、その角度を変更できる。私の専門は、コンピュータの利用方法であって、コンピュータの作り方ではないので、詳しいことは分かりません。どなたか専門家の方にお聞きしたい立場です。

２．来賓講演
演題：「濃尾平野の水資源としての地下水 ～地下水のことを知る～ 」
講師：岐阜大学　工学部　社会基盤工学科　教授　神谷　浩二　氏
講師紹介：1993 年 3 月　岐阜大学大学院工学研究科修士課程終了。1999 年 9 月 博士（工学）岐阜大学。1993 年 4 月 岐阜大学助手。2016 年 7 月 岐阜大学教授。現在，岐阜県環境影響評価審査会会長、岐阜県環境審議会委員、高山市水源地域保全審議会委員、東海三県地盤調査会顧問、西濃地区地下水利用対策協議会顧問、愛知県環境審議会委員などの各種委員等。専門分野は地盤工学、地下水工学。1998 年 5 月 土木学会論文奨励賞、2015 年 6 月 地盤工学会論文賞など受賞。

講演概要：濃尾平野では、地盤地下対策のため法的に地下水の採取規制が実施される一方で、上水道や工業・農業用水などの水資源として地下水は重要なものになっている。地盤地下対策が開始されてから現在に至る 60 年間の地下水を取り巻く状況を紹介しながら、水資源としての地下水の将来について考察する。

講演内容：
- **はじめに**：「上水道の水源はどこ？」と毎年のように学生に質問している。岐阜大学の学生は愛知県、三重県、岐阜県の出身者が多い。愛知県の学生は川やダムと答える。岐阜や大垣の学生は長良川や揖斐川などの河川をイメージする。地下水は余り理解されていない。また、上水道について普段から気にしない人が多い。この機会に普段、何気なく飲んでいる水について考えてみてはどうでしょうか。
- **地下水とは？**：広い意味では地盤の中の水を全て地下水とするが、狭義ではいわゆる水資源として利用されている地下水を言う。このような地下水の利用にあたっては、粘性土ではなく砂や礫から成る透水性が高い層の水をくみ上げる。地下水の存在する位置によって、不圧地下水と被圧地下水に区別する。不圧地下水は地下水面が大気に近い浅い場所にある。被圧地下水は深い場所の特に厚く層を成した粘性土層の下部にあって、周辺から圧力を受けている。
- **地下水を採取する井戸**：井戸を掘って地下水を採取する。地盤を掘った穴に、塩化ビニール管、鋼管、ステンレス管などを地下水採取の深度まで挿入する。これらの菅の底部に設けられた多孔質状の側壁を地下水が通過して井戸に集まり、それをポンプで汲み上げる。井戸の中の水を井戸水、周辺の地層の中にある水を地下水と区別することがある。井戸水が地下水ではない場合もある。例えば、井戸が劣化して井戸の中の水が地層と行ったり来たりできなくなって機能しなくなる場合は、井戸水と地下水を区別する。挿入管の側壁の多孔質状態の部分をスクリーンやストレーナとも言う。

地下水を採取する透水性の高い地層を帯水層と言う。帯水層を探って設置された農業用の井戸は大規模なものから小規模なものまで岐阜県内の濃尾平野に多く存在している。

- **日本の井戸の始まり**：諸説あるが、約 2200 年前の弥生時代に井戸が始まったと言われている。古い文献によれば、当時は飲用など生活のためよりも、地下他界の神が宿っている神聖なるものとして位置付けされた。そのような由来から井戸を祀る習慣が残っている。神社の井戸は非常に神聖な感じがするためか、その水を汲んで持ち帰る人もいる。
- **地下水を採取する地層（岐阜県・濃尾平野）**：岐阜県の濃尾平野の地下断面には、地下水の汲み上げに適した代表的な３つの地層が、上から第 1 礫層、第 2 礫層、第 3 礫層の順にある。第 1 礫層は約 50m程度の深さに現れる帯水層で水通しのいい礫層から成る。更に 150～200m程度の深度に第 2 礫層があり、その奥の 250m程度の深度に第 3 礫層がある。岐阜県では、主にこの 3 つの地層に井戸を掘って地下水を汲み上げているが、更に深い地層から汲み上げている場合もある。質の高い水を求める場合は井戸が深くなり、特に汚染物質の回避のために非常に深く掘ることがある。
- **何故、地下水を水資源として利用する？**：個人差があるが、一般的には地下水は「おいしい」と感じるが、その水質はミネラルの含有量などに左右される。岐阜では多くの上水道に地下水を使っているが、自宅の井戸から汲んだ地下水を生活用水にしている人もいる。

  井戸の地下水は「きれい」でもある。水に含まれる色々な物質は、帯水層による濾過作用や色々な反応で浄化される。しかし、浄化されない物質も多くあって、一度、汚染が始まると広範囲に進展して飲用できなくなる場合もある。一般的には川の水に比較して「きれい」と言える。

  地下水は恒温性が高く、1 年を通じて温度変化が余りない。地域によって多少の差があって、年間 15 度で推移する地域もあれば 20 度近くになる地域もある。　概して　夏場は冷たく、冬場は温かく感じるので、重宝される。

  地下水は豊富である。地下水は、速やかに流れる川の水とは異なって非常にゆっくりと地層の中を移動するために貯留性が非常に高い。まるで地下にあるダムのイメージで、多くの水が蓄えられている。

  最大のメリットはコストだ。井戸を掘ってポンプなどを設置する初期コストはかなり必要だが、ランニングコストはポンプを駆動する電気代だけになり、上水道のような水道料金を支払う必要がない。

  以上のようなメリットから地下水の利用は多いが、この地下水と云う水資源は本当に未来永劫に亘って利用し続けていくことができるのだろうか。普段、利用していると不安を感じないが、実は、水資源にも有限性があることを考えねばならない。地下資源としての地下水にも持続可能性が求められる。
- **地下水の利用の例**：水資源として利用の第 1 はやはり上水道や簡易水道になる。事業所によっては井戸を掘って専用水道を設けている場合もある。岐阜大学は 7 本の井戸を専用水道に使っている。工業、農業、飲食品業の分野にも多く使われている。

  珍しい利用方法として消防用水利がある。通常の消火栓に加えて井戸を消火活動に使うためである。このような井戸が岐阜県の各地にあり、岐阜市内には 1000 箇所余り、大垣市内には 100 箇所余りがある。

  最近、注目されていのが災害時協力井戸。阪神淡路大震災の時、水道などのライフラインが寸断された状況下で井戸が役に立った経験から、都市部の防災設備として整備されている。

  エネルギーとしての利用もある。いずれも地下水の温度特性を活用してもので、雪国では昔から消雪に使われている。また、冷蔵・冷凍庫の熱源として地下水が使われる。地下水の熱をそのまま冷却用に使う「水クーラー」は、未だに使われている。

  親水空間としての利用方法もある。大垣市では自噴井戸を活用した空間整備が進んでいる。
- **災害時協力井戸**：名古屋や大阪などの大都市では、大規模災害時に一定期間、水資源を確保するために「災害時協力井戸」の整備が進んでいる。既存の井戸を登録して災害時には、その水を飲料水や雑用水に活用できるようにする取り組みである。名古屋市千種区の例では、ホームページに公開された地図上にバケツのマークで災害時協力井戸の場所が示されている。
- **岐阜県の上水道・簡易水道**：岐阜県を岐阜圏域、西濃圏域、中農圏域、東濃圏域、飛騨圏域と区分した場合、岐阜圏域は、ほぼ 100%地下水に依存している。西濃圏域は、一部で湧水や河川の水を使っているが、ほぼ地下水に頼っている。視点を変えると、岐阜県の濃尾平野地域は上水道・簡易水道の全てを地下水に依存しているとも言える。他方、中農圏域や飛騨圏域では、河川や湧水を使うので地下水への依存率が 40%程度に下がる。岐阜県営水道が運営されている東濃圏域では、元来、地下水を採取しにく

い地層条件のため地下水の依存率が非常に低く、木曽川水系の地表水を利用している。このように岐阜県内でも地下水の依存率に地域差が現れている。

- **愛知県の上水道・簡易水道**：愛知県は地下水の依存率がかなり低い。名古屋市とその周辺地域では地下水を使っていない。尾張と三河は地下水の依存率がほぼ 20%で地表水が圧倒的に多い。但し、濃尾平野という視点から見ると、一宮など木曽川水系に近い地域では井戸を設けて地下水を使っている場合が少なくない。
- **全国の地下水利用状況**：全国的に比較すると、岐阜県は上水道の地下水依存率が 70%で全国 4 位になり、地下水が欠かせない地域になっている。愛知県は上水道の地下水依存率が 15%と低い。同じ濃尾平野にあっても、県境の木曽川を跨いで水事情が大きく変わる。工業用水の場合は、岐阜県の地下水依存率は 50%で全国３位を占める。
- **地下水と食品（岐阜市・大垣市）**：古い文献に依れば、大垣の「水まんじゅう」は、大垣の地下水があったからこそ出来上がった。岐阜市内の麩や湯葉を作っている工場では、使っている地下水の質や温度に応じて工程が色々と工夫されている。また、水に対する「こだわり」の例として、岐阜市の仕出し屋では、出し汁を取る時は代々伝わっている井戸の水を使い、洗い物をする時は岐阜市の上水道を使うように、いくつもの蛇口を使い分けている。このように地下水によって、この地域の特徴を持つ様々な食文化に影響を与えて来た。
- **地下水と親水空間（大垣市）**：大垣市の加賀野八幡神社の井戸や駅近くの八幡神社の湧水には、週末ともなると多くの人が出水を汲みに集まる。大垣市は、このような自噴水の特徴を「街づくり」に生かして親水空間の整備を進めてきた。この効果については今後の評価を待たねばならないが、地下水に恵まれた環境を「街づくり」に利用した、という特徴は特筆すべきである。
- **地下水と親水空間・自噴**：井戸から地下水が自然に湧き出て来る現象を自噴と言うが、1930 年頃は濃尾平野でも名古屋市周辺まで自噴があった。それが 1970 年代になると、地下水開発の影響によって自噴する地域は大垣市周辺まで減少した。しかし、近年は広範囲に回復してきて、愛知県津島市でも自噴が起こっている。
- **地下水の自噴のしくみ**：揖斐川、長良川、木曽川などの扇状地の特徴は、非常に透水性の高い層が厚く形成されて、水を通しにくい地層はほとんどなく、不圧地下水の地下水面が明確に形成されている。この地下水の下流部にあたる大垣市周辺では、粘土層、つまり難透水層が厚くなってくるため、地下水は動きやすい難透水層の下へ動いていく。このような場所では地下水面が地盤よりも高くなって、地下水はそれに相当する圧力を受ける。この状態の地下水を被圧地下水と呼ぶ。この場所に井戸を掘って穴を開けると、水が地下水面とバランスする高さまで吹き上がってくる。パイプを高くすれば、井戸の中で水面が形成されて吹き上がることはない。このように地盤高より地下水位が高いと自噴が起こる。
  岐阜県の輪之内町にある浅い井戸でも冬場になると自噴が起こる。水田灌漑用の農業用水なので夏場は大量の水を使うために水位が低下するが、冬場には回復して地盤高を超えるために自噴が起こる。大垣市南部でも冬場に自噴が顕著になる。
- **地下水の地域性・地下水温（大垣市）**：大垣市にある第 1 礫層の浅い地下水の温度を年間に亘って調査した。夏と冬で温度差が少なく、年間を通して恒温性が高い。また、西高東低で、西の方が東よりも 2～3 度高い。この原因は次のように考えられる。東の地下水は北部の揖斐川から供給を受けているために揖斐川の平均水温に近い。西の地下水は水田の漏水など地表からの供給が顕著なため平均気温に近い。つまり西と東で地下水の供給源の違いが地下水の温度差になっている。このような特徴が様々に利用されている。
- **地下水の地域性・地下水温（岐阜市・金華）**：岐阜市金華地域の地下水は全く異なる特徴を持っている。金華橋の南東側、昔の城下町の地域において地下水の温度を年間を通して調査した。調査した地下水は地表から 20m程度の深さにあるため日射による温度影響はない。日射の影響は地表から 10 ｍ程度までと言われている。興味深いことに、ここの地下水は夏と冬で温度が逆転している。夏に稲葉神社周辺の地下水は 11～12 度程度の低さで、手で触れるとかじかむほどだが、冬になると 18～19 度に温かくなる。この原因は次のように考えられる。ここの地下水は長良川から供給されているが、この場所に達するには半年ほど要することが計算して分かった。つまり、冬の長良川の水が地下水となってゆっくりと動き、夏にようやくここに達した。途中の熱交換で少し温度は上がるが、冬の長良川の水温に近い。逆に夏の

長良川の水は冬になって到達する。このように非常に興味深い水温の逆転現象が起こっている。この特徴を生かしたエネルギー利用を地元に提案したことがある。

- **地下水の汚染**：以前、岐阜市のホームページに地下水の汚染状況が公開されていた。今は基準値以下に浄化されたが監視が続けられている。2 カ所の発生源から出た汚染物質は、地表を通過して地下水に達し、地下水の流れに沿って長期間に亘って拡散した。拡散の状況は密度や粘性など汚染物質の特性によって異なってくる。
- **地下水の主要な化学成分（水質・溶存イオン）**：水に含まれる主要な溶存イオンには、一般にミネラルと呼ばれているナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンなどの陽イオンがある。この中でカリシウムイオンとマグネシウムイオンの含有量は水の硬度を表す。陽イオンとバランスする陰イオンとして、塩化物イオン、重炭酸イオン、硫酸イオンなどがあり、稀に微量の硝酸イオンが含まれることもある。このような水の主要成分は、河川などの地表水にも地下水にも同じように含まれている。

  地下水の含有成分と量は地域の狭い範囲で差がある、カルシウムイオンと重炭酸イオンが多い重炭酸カルシウム型は、扇状地の地下水や地表水に多く見られる。地下水の流れの中流部では、ナトリウムイオンが増加してカリシウムイオンが減少する重炭酸ナトリウム型になる。これは、粘土層でイオン交換が起こった結果、マグネシウムイオンやカリシウムイオンが粘土に吸着して、バランスを取るために粘土から吸着性の低いナトリウムイオンが放出されるためである。従って、特に粘土層が発達した中流域に多い。沿岸部では、海水混入によってナトリウムイオンと塩化物イオンが非常に多い塩化ナトリウム型になる。地下水の水質には以上の３つのパターンがある。
- **地下水の地域性：地下水質（岐阜市）**：岐阜市が市内の 800 箇所余りを長年に亘って調査したデータによれば、長良川から供給される地下水は地表水に近いために重炭酸カルシウム型になるが、その南側では金華山の周辺が地下水の供給源になってカルシウムイオンと重炭酸イオンの含有量が増える。北部では根尾川の水が時間をかけて地下水として到達する途中で地層中のカルシウムやマグネシウムなどが溶解して増える。このように水質は供給源から離れて徐々に進化するために、同じ重炭酸カルシウム型でも水質に差ができてくる。また、硬度も 20～30 程度から 80～90 程度まで差がある。飲み比べて違いが分かるかどうかは、微妙で難しい。
- **地下水の地域性：地下水質（大垣市）**：大垣市では、北部が重炭酸カルシウム型で、南部は重炭酸ナトリウム型になる。南部では粘土層との反応が増大して、ナトリウムが増える。他方、北西部では、石灰岩の鉱床に近いため、その影響を受けてカルシウムイオンが異常に高くなる。この地域はカルシウムイオンの濃度が高いために水道設備の負荷が大きいと言われている。大垣市内には、重炭酸カルシウム型から重炭酸ナトリウム型まで、色々な水質が存在する。
- **地下水は誰のものか？**：2011 年発刊の宮﨑淳氏の著書「水資源の保全と利用の法理」から、地下水に関する裁判の歴史的な推移を辿ってみよう。初めて示された明治 29 年（1896 年）の判例は、「土地所有権の絶対」という判断によって、地下水の所有権は土地所有権の範囲とした。従って、自分の土地に井戸を掘って地下水を汲み上げることはその土地所有者の権利とされた。大正の時代になっても同様の判例が続いて、井戸の水は個人の所有物との考えが非常に強かった。ところが昭和 13 年（1838 年）の判例では、地下水利用は土地所有者の権利であるが、他人の地下水利用を侵害すれば権利の濫用になる、とした。つまり、土地所有者に認められる地下水利用権限に制約を付けた。この判例は近年になっても活用されている。例えば、地下水利用によって上水道水源の枯渇が起こる問題などに関係する。地下水は共有資源である、という考え方は、このように昭和初期に芽吹いて近年になって根付いた。
- **水循環基本法**：2014 年に水循環基本法が議員立法で成立して施行された。これは理念を描いた理念法であり、各関係省庁、自治体、事業所などで具体的に実行することになる。この法律によって、水循環の一部として地表水と地下水の両者が初めて法的に扱われ、地下水に対する公共性の高さが明確になった。
- **水循環系の一部としての地下水**：地下水は水循環系の一部であるが、水資源としては地表水よりも多く存在する。川の水は雨が降った後に比較的早く海に流出するが、貯留性の高い地下水は貴重な資源として捉えられる。地表から地下に浸透した雨や川から供給された地下水は移動速度が非常に遅い。例えば、扇状地の地下水は 1 日当たり数ｍから数 10ｍ移動するが、沿岸部に入ると 1 日に僅か数㎝になる。海に

入って蒸発して雨や雪になり、一部は地下水に一部は川となって流れて行く。これを繰り返して、水の循環系が成立する。

現在の最大の懸念事項は気候変動だ。雨の降り方が変わって、非常に多量の雨が短期間、短時間に降るようになり、地下に浸透する水も変わった様相になってきた。また、雨が極端に少ない異常渇水になると地下水が減って大きな影響がある。従って、気候変動による地下水への影響について注意していかなければならない。今、その影響を予測できるように研究を進めている。

- **地下水位と地盤沈下**：地下水に関係する問題として地盤沈下がある。特に濃尾平野は地盤沈下によって海抜０メートル地帯が拡大してきた。地盤沈下は地下の粘土層が収縮することによって起こる。粘土層が収縮する原因は様々あるが、地下水がかかわる地盤沈下は地下水位の低下によって引き起こされる。例えば、粘土層の上の不圧地下水位が下がると、粘土層にかかる荷重が増加して粘土層が圧縮される。粘土層は圧縮されると含んでいた水を押し出すが、透水性が非常に低いために水の押し出しに時間がかかって圧縮は非常にゆっくりと起こる。従って地盤沈下は瞬時に発生するのではなく、気が付いたら地盤が下がっていた、と言うようなことになる。他方、粘土層の下にある被圧地下水を汲み上げると、圧力が下がって粘土層に含まれる水が絞り出され、粘土層の収縮が起こる。実際のメカニズムはもう少し複雑だが、地下水位の低下によって地盤沈下が起こることは明確である。

  海津市において調査されたデータを見ると、地盤がかなり変動していることが分かる。調査開始からの地盤変化を示す累積地盤沈下量を見ると、今の時点では 25 ㎜ しか沈下していないが、それだけ粘土層が収縮したという意味である。沈下量の増大は粘土層の収縮を示し、逆に沈下量の減少は粘土層の膨張を示す。粘土層は収縮量に比べて膨張量が少ないという特徴もある。地盤沈下量と地下水位の関係を見ると両者の相関関係が分かる。第１礫層の地下水位が下がると沈下量が増え、地下水位が上昇すると沈下量が減る。これが細かく繰り返されている。地下水位の低下が大きくなって、それが長期間続く場合は、この程度の沈下で済まされない。このことは、過去に日本全国で多く経験してきた。

- **濃尾平野の地盤沈下**：地盤沈下の痕跡を示す象徴的な写真（平成 29 年 8 月東海三県地盤沈下調査会の資料から）がある。これは三重県桑名郡木曽岬町の水田で、奥に赤く見える橋が国道 23 号線。手前に写っている井戸の形状から、現在の地表面は昔の地表面から約１ｍ下がったことが分かる。つまり、地下の粘土層が約１ｍ収縮したことを示している。井戸は砂礫層まで掘られており、砂礫層は非常に硬い地盤でほとんど収縮しない。そこに井戸が支えられている状態で、砂礫層の上の粘土層が１ｍ収縮して、その上の地盤も１ｍ下がったことを現わしている。まさに地盤沈下が実際に起こった痕跡になる。濃尾平野では、地盤沈下が1.5ｍとか、２ｍ近く起こった所もある。これは我々が気付いてから調べている範囲なので、気付く前の箇所も調べれば更に大きな地盤沈下が濃尾平野で起こっていたかも知れない。

  濃尾平野は地盤沈下にともなって海抜０メートル地帯と言われる平均海水面の低い部分がどんどん拡大して、今や濃尾平野は海抜０メートル地帯の国内最大面積になっている。問題は地盤沈下に伴う構造物への被害だ。家屋、ビル、橋梁、道路、水道管などのライフラインといった様々な構造物が地盤沈下の被害を受けると、そこに暮らす人々の生活に支障をきたすことになる。また、二次的なリスクとして、高潮と津波の被害が非常に懸念される。伊勢湾台風の時には海抜０メートル地帯の被害が拡大した。今は南海トラフ地震に備えることが必要だ。防潮堤や堤防が破壊された場合は、浸水被害が拡大して排水が出来なくなり浸水が長期間続くことになる。当然、国や自治体による色々な対策が押し進められているが、濃尾平野はこの問題と付き合わなくてはならない。また、地下水に関しては、愛知、三重、岐阜の各県の問題ではなく、濃尾平野全体の問題と捉えて考えねばならない。

- **地下水位と地盤沈下（大阪平野）**：大阪は日本で最初に様々な地盤沈下対策に取り組んだ経緯がある。大阪平野の地盤沈下が意識され始めたのは、1934 年の室戸台風による高潮被害が契機と言われている。

この時に浸水被害が広範囲に起こって地盤沈下がその原因として問題化した。その後の 1939 年に和達清夫博士が地盤沈下の原因を地下水開発による地下水の過剰な汲み上げと指摘した。しかし、残念なことに、その指摘に対する批判も多くあって、地盤沈下に対する国の対応は非常に遅れた。戦争を経て、戦後の経済復興・成長期に地下水開発が盛んに進められた結果、地盤沈下が拡大した。和達清夫博士のデータに基づいた指摘が再評価されて、ようやく国が動き出した。先ず 1956 年に工業用水法が施行されて工業用地下水の利用を制限したために、地表水への切り替えが始まった。1962 年にはビル用水法が施行された。更に 1967 年の公害対策基本法で、地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下は人為的な公害として法的に認められた。続いて地盤沈下防止等対策要綱が閣議決定されて様々な対策が取られてきた。

- **濃尾平野の地下水位と地盤沈下**：濃尾平野は 1960 年頃に工業用水法の適用を受けて地下水の利用制限が始まったが、地盤沈下は止まらなかった。そのため、愛知県、三重県、名古屋市が独自に条例を制定して地下水の利用を更に厳しくした結果、ようやく地下水位が回復に転じて地盤沈下は収まってきた。これらの条例を機に地下水の利用量は大幅に低下した。1985 年には地盤沈下防止等対策要綱において、愛知県と三重県の一部を合わせた濃尾平野の地下水利用の目標を年間 2.7 億トンに抑えた。この頃から工業用水の地表水への切り替えが強く推進されるとともに産業編成の影響もあって地下水利用が減ってきた。このような経緯を経て、現在は地下水位が回復して地盤沈下もほぼ収束した状況にある。
- **地盤沈下対策**：地盤沈下対策関連で施行された法律や条例などは次の通り。①1956 年・工業用水法　②1962 年・ビル用水法　③1985 年・濃尾平野地盤沈下防止等対策要綱　④1967 年・公害対策基本法　⑤1993 年・環境基本法。公害対策基本法は環境基本法に代わったが、この中でも地下水汚染を含めて地下水に対して明確に規定されている。
- **濃尾平野の揚水量規制**：濃尾平野地盤沈下防止等対策要綱において、岐阜県では地下水の取水規制が法的に全くないが、西濃地区地下水利用対策協議会などで、自主規制している。他方、愛知県や三重県では工業用水法や条例によって地下水は使いづらくなっているが、昔から使っている事業所については「みなし許可」によって管理しながら使うことが認められている。新規利用は非常に難しくなっている。このように規制で地域差がある。

  地層の視点からは、濃尾平野は一つの地下水の器になる。行政府による法的な規制によって地下水利用の様子が随分変わって、地下水に対する意識も随分違ってきた。例えば、岐阜大学には愛知や三重出身の学生が多い。子供の頃に「生水を飲むのはダメ」と教えられた愛知県の学生は「地下水は飲めるのですか？」と聞いてくる。それが岐阜に来てから「飲んでもいいんですね」と地下水に対するイメージが変わる。濃尾平野の中で地下水はつながっているにもかかわらず、地域で地下水に対する意識が異なるのには、法的な揚水量規制が影響しているようだ。

  地盤沈下が収束するとともに地下水位も高くなり、愛知県でも場所によって自噴が見られるほどになった。地盤沈下対策も監視だけの現状維持という考え方に変わって来た。その一方で、地下水をもっと利用しても差し支えないのではないか、という議論が数年前から始まったが、その科学的根拠は未だ乏しいため、我々の研究室もその問題に取り組んでいる。
- **異常渇水に伴う地盤沈下**：　1994 年の夏は雨がほとんど降らなかったために異常渇水になって地盤沈下が拡大した。年間 1 ㎝以上の地盤沈下が発生した土地面積の合計が 700 ㎢以上に達した。東海 3 県地盤沈下調査会が国や自治体と連携して、水準測量、定点観測、地下水監視システムなどの情報を集約して毎年、状況を評価している。

  最近は豪雨災害が注目されるが、異常渇水も必ずやって来る。異常渇水になると、地表水は不足し、ダムは枯れて、水資源の取り合いが起こる。地表水からの供給が少ない上に地下水利用が増えて、地下水への負荷が増加する。すると地下水位が下がって粘土層の収縮が起こり地盤沈下に結びつく可能性がある。地下水の利用量は全体的に減ったが、また大きな問題に結びつく恐れがある。
- **地下水位による障害**：地盤沈下に対して 1960 年代から様々な対策が取られて何とか解決されてきた。しかし、逆に地下水の回復によって別の問題が顕在化した。特に液状化のリスクが高まった。液状化には地下水位が関係していて、地下水位が高くなればなるほど液状化のリスクが高くなる。液状化の起こり易さは場所や地層によって異なるが、基本的には地下水位を下げることが肝要である。

  千葉県では液状化リスクを軽減するために地下水を汲み上げて地下水位を下げようとしているが、このような取り組みは各地でも行われている。地下水位が上昇すると、ビルなどの建造物が地下水に押し上

げられて浮き上がってしまう現象が指摘されている。この対策として、例えば東京駅はアンカーを打って地盤との密着性を高めている。

- **地下水位に影響する揚水と地下水涵養**：地下水は自然の恩恵であるが、人間の活動が地下水位をコントロールしてきた。人間が地下水位を下げて地盤沈下が起こり、人間が地下水位を元に戻したら、液状化の弊害が出て来た。まさしく自然の恩恵の中で人間が自分達の生活を変えてしまった。そのような経緯を考えると、大切な水資源である地下水と、どのように付き合っていくべきか、一人一人がしっかりした意識を持つことが重要だ。

  将来、地下水位がどのように変化していくのか、気候変動も含めて予測する必要がある。濃尾平野の場合は特に川が地下水の主要供給源だが、水田も無視できない供給源になっている。気候変動の影響や土地利用が変わっていく中で、地盤沈下や液状化のリスクを最小化にしながら、貴重な地下資源としての地下水をどのくらい使っていいのだろうか。供給と揚水のバランス、いわゆる水収支はどうなっているのだろうか。そのような予測技術を構築するために、野外で実態調査を行ってきた。
- **濃尾平野の地下水の供給源**：濃尾平野の地下水は木曽三川の扇状地が大きな供給域である。木曽川、揖斐川、長良川に大きな扇状地が発達している。更に揖斐川支流の粕川、根尾川、相川、牧田川にも扇状地が発達している。流域の水田からも漏水した水が地下に入っていく。川の水は非常にゆっくり地下に漏水していく。最近は少なくなったが、根尾川や粕川などに「枯れ川」が現れることがある。夏場になると、農業用取水の影響もあるが、流量が減って途中で水がなくなると「枯れ川」になる、これはまさに川の水が地下に入っていく証でもある。我々が井戸から汲み取る水は、このようにして第 1 礫層、第 2 礫層、第 3 礫層に供給される。
- **河川と地下水の交流関係**：河川は、地下水の供給によって川が形成される得水河川、水が川床から地下に浸透して失水河川、両者を併せ持つ得水失水河川に分けられる。得水河川は特に盆地に多い。濃尾平野の扇状地では、失水河川がほとんどで、水が河床から地下にゆっくり動いていく様子が確認できる。長良川は一部で得水河川になっている場所がある。
- **揖斐川扇状地・ボーリングデータ**：揖斐川扇状地の実態を調査してきた。揖斐川の河床のボーリングデータを見ると、特徴として透水係数が非常に高い礫層が厚く埋まっていて、扇状地の川から地下に水が入り易い条件になっていることが分かる。
- **長良川における地下水涵養量調査事例**：川の流量は、取水や蒸発、および地下に浸透したりして減少する。流量の減少のほとんどが地下に浸透するという認識で、長良川の流量変化を調査した。超音波流速計を使ったが、最近はドローンで川を空撮して流量を評価する方法も使っている。長良川の扇状地の最上流に相当する扇頂、扇状地の中央に相当する扇央、扇状地の端部に相当する扇端の各箇所で流量を測定して、流量の変化を評価した。このような調査を揖斐川や粕川でも行ってきた、
- **地下水涵養量と揚水量のバランス**：濃尾平野の地下水は、長良川が年間 2.4 億トン、揖斐川が 4.3 億トン、木曽川が 3.4 億トン、つまり木曽三川だけで年間 10 億トンを供給している。これに粕川や相川などを加えて、更に水田の灌漑水も加えると 15 億トン以上になるかも知れない。これほど大きな供給能力を扇状地が持っているが、この能力を如何に維持していくかが重要になる。

  他方、地下水の利用状況は、地盤沈下が最も進んだ 1976 年から地下水位が回復を始めた 1977 年にかけて地下水の利用量は年間 10 億トン内外で推移して、偶然、この涵養量の 10 億トンと釣り合う。当時の木曽三川の様子は不明だが、10 億トンという数値はこの地域の指標になる。ちなみに中小河川と農地の涵養量はこれからの調査待ちだが、地下水利用量も未把握分がかなりあるため、この数値はそれほど外れていないだろう。

  昨年、濃尾平野全体で 4 億トンの地下水を利用している。そうすると余剰がかなり期待できるが、この余剰分に対して地盤沈下を起こさないで上手く使っていく方法を見つけることが必要になる。現在の法律の緩和策を考える必要がある。大阪市は条例で地下水利用を厳しく制限しているが、最近は特区制度によって地下水の新規利用が特別に認められた例がある。試行的に実施して地下水の利用を増やしても大丈夫かどうかを実証実験する雰囲気が現れた。ひょっとすると、これから様々な法的な仕組みが整備されて法制度も変わってくる可能性がある。国としてもその辺の議論を進めて、現状の法的制約よりも地下水資源の有効活用を見出すように方向転換していくだろう。

- **地下水から見た濃尾平野の岐阜県**：岐阜県は濃尾平野の地下水にとって非常に重要な地域である。濃尾平野の地下水利用の半分を岐阜県が占めている。地下水の供給源、涵養源を育てる地域であり、地下水の上流側に当たる。上流側で何か変な物質が入れば下流側に影響が出る。上流側で地下水を使い過ぎると下流側に地盤沈下の被害が起こる。こういった意味で岐阜県は非常に重い責務を担っている。そのような意識を持って行政側も対応しているが、やはり県民も真剣に考える必要がある。先ずは、地下水への意識や関心を持つことが地下水の持続可能な利用に結びつく。
- **“地下水”を守り上手く利用する方向へ**：地下水は付き合い方や使い方を間違えると、我々の暮らしに容赦なく歯向かってくる。代表的なものが地盤沈下である。熊本では人為的な水質汚染で地下水が利用できなくなって上水道が廃止された地域がある。地下水に何か負荷をかけると大変なことになる一方で、回復には時間とコストを要する。例えば、地盤沈下の時に地下水位の下がり方はものすごく速かったが、回復にはその 2 倍近い時間を要した。やはり、未然防止や早期発見に結びつくように、各個人が意識するとともに、いわゆる官学民が連携して地域で地下水の保全と管理を考えていかねばならない。
  地下水によって暮らしが支えられ、文化や産業が築き上げられ、社会が出来上がっている。地下水の持続性可能性を確保するために、これからどうしていくべきか、皆で考えねばならない。

講師からのお願い

今夏から地下水の供給源として水田の評価を計画して、揖斐川の扇状地や粕川の扇状地をターゲットにしています。もし、今日、参加された皆様の中で、この近辺の水田を貸してもらえそうな方をご存知でしたらお声がけして下さい。調査箇所をこれから地元と交渉するために、いろいろな伝手に頼っているところです。調査は稲刈り後の秋から行う予定ですが、夏から準備いたしますので、そのタイミングで各種の調査機器を入れさせていただきます。

Q & A

Q：異常渇水での地盤沈下は渇水が収まるとある程度もとに戻るのですか？　　1：29：15

A：細かく見れば僅かにリバウンドして戻るが、それは地盤沈下が進行する過程で起こることで、基本的に地盤沈下は一度下がると元に戻らない。従って、異常渇水を含む地盤沈下は深刻に捉える必要がある。

Q：地下水の水位に関して、涵養量と揚水量のデータから特定域の水位をモニターするようなことで制御を可能にすることはできますか？　また、将来的にはどうでしょうか？

A：今、岐阜県は 20 箇所以上で、愛知県は更に多くの箇所で地下水位をモニターしており、そのデータは東海三県地盤沈下調査会で一元化されている。地下水の変化には地域差が様々にあるが、濃尾平野を一つの地下水の器と考えればモニターできそうで、場所毎にその代表的数値を明確にすることによって、算出するポイントが定まってくるのではないかと、考えられる。

Q：岐阜市や大垣市の地下水の涵養には河川水が大きな役割を果たしていることがわかりました。一方で各務原地下水盆では地下水の涵養に河川水（木曽川）がほとんど影響していないと聞いたことがあります。この違いは河川堤防や河床の地質の差によるのでしょうか？

A：木曽川について未調査だが、文献によれば地下水は木曽川から南寄りの流れが主流のようで、各務原市の地下水が木曽川を横断して南へ流れている、というデータもある。木曽川の恩恵はやはり愛知県が受けている。各務原市は台地が発達しているので、木曽川から直接に地下水が供給される地域は限られている。木曽川は扇状地が発達していて、河床には厚い礫層がある。先日、橋脚が深く掘れて傾いた川島大橋にも砂礫地盤が確認され、川の水が地下に浸透し易い条件にあることは確実だが、浸透した水は愛知県側に向かう。

Q：（**コメント**）上流域である我々の責務の大きさが良く分かりました。

３．岐阜県支部　例会　　藤橋新支部長および安田前支部長

・岐阜県支部の新体制について紹介。新任幹事４名を含む 15 名の幹事で支部運営。
・前回講演会のアンケート結果。今後の講演希望は、SDGｓ、BCP、DX、防災、有機農業、水素社会など。
・今後の講演会計画。9 月 11 日、11 月 6 日、1 月 15 日、3 月 12 日。来年 1 月と 3 月の会員講演が未定。

・見学会。8 月 20 日、ワカムラ電気（八百津町・可児市）、大仙寺（八百津町）、深尾鉄工所（各務原市）。
・中部本部の行事：7 月 24 日中部本部年次大会（ウェブ中継）、佐宗名古屋大学副学長の特別講演。
・岐阜県支部会報について（高木幹事）：投稿希望者は高木幹事まで連絡。

４．ウェブ懇親会（中止）

５．次回の講演会

９月１１日（土）　場所　ウェブ講演会

会員講演：日本車両（株）小塚俊吾　氏　修習技術者（機械）　愛知県在住
「鉄道車両を創るために必要なこととは？　～設計の技能継承における苦悩～」

来賓講演：岐阜大学　地域科学部　教授　富樫　幸一　氏
「ブラタモリから振り返る岐阜のまちづくり」

以上