

17 地下水管理と地方自治体の役割—長野県安曇野市を例に—

(3) 松本盆地における地下水流動の可視化研究について

○中屋眞司(信州大・工)・高田遼吾(信州大大学院)・
井谷直貴(信州大・工)・田中 諒(同)・高宮城航平(同)・
山本 晃(八千代エンジニアリング(株))・富樫 聡(同)・
井川尚之(同)

1. はじめに

長野県安曇野市の地下水の管理を進めるにあたり、流域管理の考え方に立てば、安曇野市を含む松本盆地全体の地下水流動系を可視化することが必要であろうと考えられる。可視化するに当たって、次の点、1) 対象となる流域の水文地質的特徴、2) 涵養 - 流動 - 流出系の特徴、3) 健全な水循環を達成するための地下水管理目標、4) 地下水管理上の不明な点・課題、5) 地下水研究成果を分かり易く伝える表現方法、教育的視点について検討した。これらの視点に基づき、限られた調査期間に科学的根拠を以って安曇野市の地下水管理を進めるためにはどのような科学データを収集、測定し、何を可視化するか、そして、そのためにどのようにアプローチするかが見えてきた。

ここでは、地下水流動系を可視化するために実施した測定法と結果について報告する。測定法として、化学的アプローチと物理的アプローチを実施した。化学的アプローチでは、井戸水や湧水、河川水、水田の灌漑用水、雨水を採取し、溶存化学成分をトレーサーとして流動系の可視化を試みた。物理的アプローチでは、河川から地下への涵養量や河川への湧出量の測定、渇水期と豊水期の井戸水位の一斉測水により地下水位等高線の取得、さらに3D飽和 - 不飽和浸透流解析による流線網の表示などを実施した。これら平成27~28年にかけて行った両アプローチより得られた結果を統合し、松本盆地の地下水流動系の全体像の可視化を試みた。その後、調査は継続中であるが、これまでに得られた結果から、地下水の水源となっている涵養域、流動経路、滞留時間、および年間の循環地下水流動量、水田からの涵養の寄与率などについて述べる。さらに、科学的根拠を以って地下水流動系を「可視化」することの政策推進への寄与についても触れる。

2. 調査対象域の特徴

2-1. 流域の水文地質的特徴

地下水流動の可視化を始めるに当たって、既存データから流域の水文地質的特徴を把握し、流動イメージを描いた。山地に囲まれた松本盆地は、南北に長く、糸魚川静岡構造線を境界として東はフォッサマグナに接しており、西には北アルプスと呼ばれる中部山岳国立公園に属す3,000m級の山岳地帯を持つ構造盆地である。盆地の東のフォッサマグナ地帯では、表層部の100m~200mの火山砕屑岩層と溶岩層からなる帯水層が山地部から盆地低平地まで連続して存在するのに対し、松本盆地は、主に花崗岩から成る難透水性の基盤岩類の上に堆積した数枚の砂礫層が帯水層となっていて、複合扇状地を形成している。山地部では帯水層厚が非常に薄く、山麓から東へ向かって徐々に厚さを増し、最大層厚はおおよそ400mに達し、東部で断層によって帯水層が切られている。したがって、帯水層は地下の貯水池のような形態をしている。地下水賦存量は多いとみられるが、帯水層深部の地下水は停滞し、滞留時間は長いものと想定された。盆地低平地の標高はおおよそ800m~500mにあり、盆地の中央にある安曇野地域の東部で最も低い。したがって、周囲から安曇野地域に水が集まってくる構造となっている。

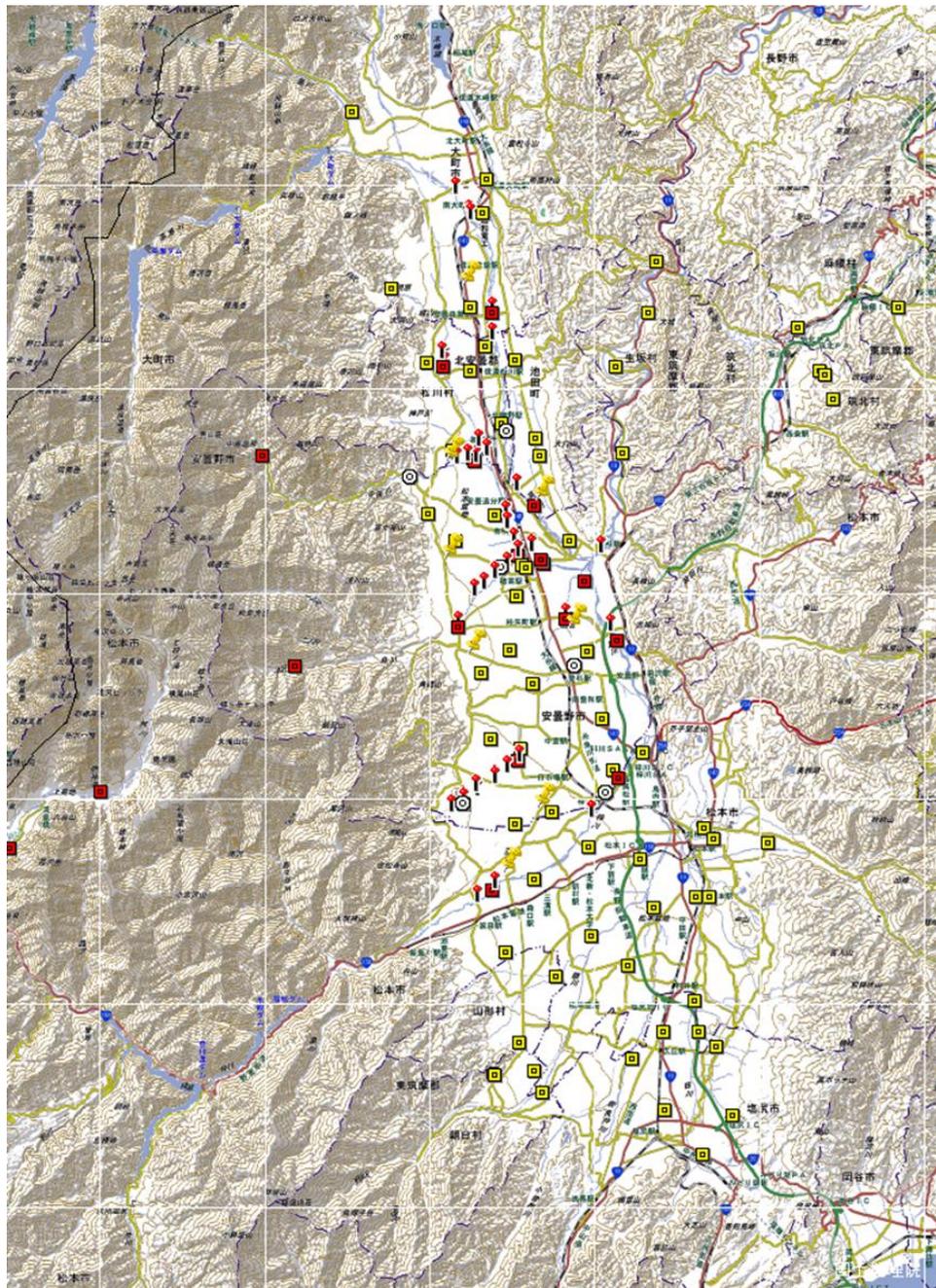


図 1. 採水点の位置分布. 黄口：井戸水 ・赤口：河川水 ・白◎：雨水 ・黄ピン：水田の灌漑用水 ・赤ピン：河川流量の測定ポイント.

2-2. 涵養 - 流動 - 流出系の特徴

山地部では難透水性の基盤岩に非常に薄い帯水層厚が乗っている形態のため、涵養した雨水はほとんど山地深部に移動せず、谷部に集まって沢へ流出することになり、河川となって扇状地に出たところで地下に河川水が涵養して伏流するか、盆地低平地まで河川により運ばれ、その間に徐々に地下へ河川水が涵養していくか、その両方の場合になると想定された。フォッサマグナ地域に比べて、河川水の地下水への涵養量は大きいと想定される。また、多くの河川系は、標高が最も低い安曇野地域の東部、三川

合流地点に集まってくる。この三川合流地域に湧水群が分布し、河川底から湧水が目視で確認できる。そうなれば、河川からの涵養域と湧水域の境界があるはずで、地下水位と地表標高および河川底との関係から、涵養 - 湧出境界を可視化しておく必要がある。さらに、湧水量を測定できれば、松本盆地の年間の循環地下水量がとらえられ、より具体的になると考えた。

3. 方法

3-1. 化学トレーサーを用いた松本盆地の地下水流動の可視化

松本盆地にある井戸水(ほとんどの井戸は、GL-20m~GL-100m にスクリーンを持つ)を 66 箇所、河川水を 22 箇所、湧水を 3 箇所、水田の灌漑用水を 8 箇所、雨水を 9 箇所で最初した。採水点位置を図-1 に示す。これらの全点で酸素と水素の安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) を測定した。 $(\delta^{18}\text{O}, \delta\text{D})$ から δ グラフを作成し、涵養源を推定した。また、中部地域の同位体高度効果(早稲田・中井, 1983)より、涵養標高を見積もった。井戸水および湧水については、 SF_6 による年代測定から滞留時間を見積もった(Nakaya et al., 2015)。豊水期および渇水期の井戸水位の一斉測水結果から地下水面の等高線を描いた。既存データを用いて松本盆地の 3 次元 FEM モデルを作成し、地下水位等高線を再現する 3 次元浸透流解析を実施し、その結果から流線網を描いた。また、3 次元浸透流解析結果に粒子追跡法を適用して採水した井戸に至る主流動経路を描いた。

3-2. 松本盆地三川合流部の湧水の湧出量調査

三川合流部では湧水群がみられる。この合流三川である高瀬川、穂高川および犀川と穂高川に合流する万水川について、川に沿って川底の水温の変化点と目視による湧出の確認によって、河川の涵養 - 湧出境界を調査し、境界での河川流量の総計と三川合流後の湧出域下流の河川流量の差から、湧水湧出量を ADCP を用いて測定した(図 2)。

3-3. 松本盆地の河川水の地下涵養と涵養量調査

まず、一斉測水結果から得た地下水面の等高線と渇水時の河川水位および地表面等高線から、河川水位が地下水位より高いゾーンを河川水が地下へ涵養するポテンシャルゾーンとして抽出した。涵養ポテンシャルゾーンにある河川流量を複数の区間を区切って、区間ごとに河川流量の差を測定し、区間涵養量とした。それに基づいて単位長さあたりの涵養強度(万 $\text{m}^3/\text{month}/\text{km}$) に変換した。流量差が上流側の流量の 10% 未満の場合、誤差と判断しゼロとした。梓川ではかなりの涵養を予想していたが、測定可能な場所が少なく涵養強度を得ることができなかった。そのため、涵養量の推定には、高瀬川・烏川・黒沢川・乳川の涵養強度を用いた。各河川涵養量は、河川長と各河川の平均涵養強度の積から概算して求めた。



図 2 三川合流部の湧出量調査

4. 結果

可視化調査の結果、GL-20 m~GL-100 m の深度にある地下水の流動系について、以下のようにまとめられる。

- 1) 松本盆地の地下水の流線網から、梓川を境に大きく盆地南半分と北半分に地下水系が二分されていることが明らかになった。盆地南半の地下水系は、梓川が犀川に合流する地点の南方およそ 3km のゾーンに集中した後、盆地北半の地下水系に合流する。盆地北半の地下水系も三川合流部に集中し、犀川に湧出している。したがって、三川合流部には、松本盆地の地下水のほぼすべてが集まり、湧出し

ているとみられる。

- 2) 松本盆地全体を流れる地下水の $\delta^{18}\text{O}$ に中部地域の同位体高度効果を適用すると、その涵養標高は平均して 1,000 m~1,600 m にあるとみられ、地下水源のほとんどが盆地を取り囲む山地水源林であると推定される。
- 3) 松本盆地内の地下水には、その流動経路が河川の流路と一致するものが多かったことから、河川を経由して盆地内へ運ばれてきた水の涵養によるものが多いと考えられる。
- 4) SF_6 による年代測定の結果、松本盆地内において梓川より北部を流れる地下水の滞留時間は 15 年未満のものが多く、比較的若い地下水が流れている事が分かった。滞留時間が 20 年以上の地下水は、松本盆地の南部の盆地縁辺部に多くみられる。盆地北半部の地下水の循環速度は比較的速い。
- 5) 河川水面標高と地下水位標高の差を用いることによって、涵養-湧出域の境界を明らかにすることができた。また、河川底の水温調査によって、湧出地点が確認できる。
- 6) 各河川の地下涵養量は、概算で高瀬川 3600 (万 m^3/month)、烏川 200 (万 m^3/month)、乳川 500 (万 m^3/month)、黒沢川 200 (万 m^3/month) となり、その合計を涵養域全体の河川からの涵養量とみなせば、およそ 4,500 (万 m^3/month) となった。年間河川涵養量は、第 1 近似でおよそ年間 5.4 億 m^3 と推察される。
- 7) 湧水地域の地下水の滞留時間は、およそ 10 年と短いものであり比較的若い地下水であった。
- 8) 水素と酸素の安定同位体比により湧水の起源を特定すると、ほぼ河川水が湧水源であることがわかったが、河川水だけでは説明できなかった。塩化物イオンと酸素の安定同位体比によって推定すると、水田の灌漑用水も湧水の起源であると推定される。
- 9) 三川合流部の湧水について、河川水と水田灌漑用水との混合比を計算をすると、河川水がおよそ 87%、水田水がおよそ 13% である。
- 10) 湧出区間の河川の上流と下流の河川流量差から年間湧出量を推定すると、3.9 億 $\text{m}^3/\text{年}$ ~5.8 億 $\text{m}^3/\text{年}$ であることがわかった。

5. おわりに

地下水流動の可視化によって、自治体の地下水管理にどのように生かされるかについて触れる。まず、自治体が管理および利用する地下水の水源がどこにあるのか、井戸所有者が使用している井戸水や湧水の水源がどこにあり、どういった経路で流れてきて、何年前に水源で涵養した雨なのか、について科学的根拠に基づいて示すことによって、自分の土地の下の地下水は土地所有者の固定資産(私水)ではなく、市民共通の財産(公水)であり、公的に管理すべきであることを利用者は自覚させられる。流動経路の上流での何らかのインパクトは、下流のどこに強く影響が現れるか、はっきりわかるようになる。育水の効果的なやり方について検討できる。自治体間の共同の必要性について根拠を与える。受益者間のトラブルの解決にも生かされるであろう。

謝 辞

本研究は、安曇野市の協力のもとに調査・採水を実施した。ご協力いただいた松本盆地の井戸所有者の方々、水田所有者の方々に謝意を表します。また、この研究は、安曇野市から委託を受けて実施したもので、様々なサポートに感謝いたします。

参考文献

- 1) 早稲田周・中井信之 (1983) : 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成、地球化学、17、83-91.
- 2) Nakaya S. et al., 2015. Longtime behavior of cesium (Cs) in natural spring drinking water, Sustainability of Water Quality and Ecology, 6, 20-30.