

地下水とは何か

楠見晴重

Kusunoki Haruhide

関西大学工学部土木工学科教授

地下水は人類が最も早く開発し、利用をはじめた地下水源で、日本における地下水利用の歴史は縄文時代にさかのぼるといわれている。当初は天然の湧き水を生活に利用したものだだったが、弥生時代に至って浅い井戸が掘られるようになったと考えられている。

地下水とは文字通り地下を流れる水のことだが、その性質はさまざまな条件によって非常に複雑な様相を呈する。しかも目に見えない地下世界には、まだ解明されていない問題が数多く残されている。

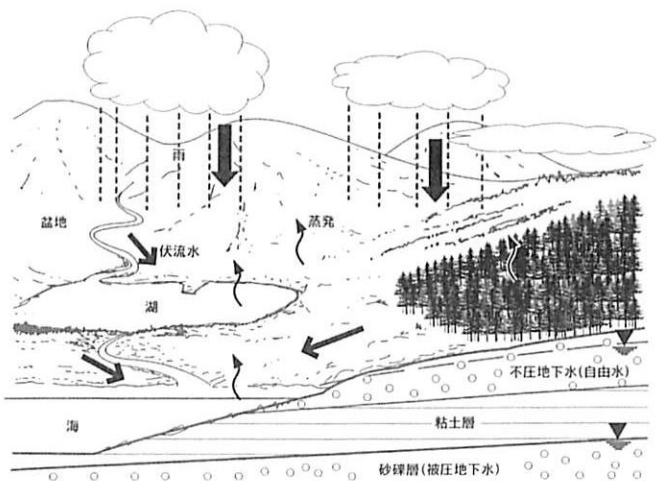


図1-1 地下水の全体状況(模式図)
[作図=楠見晴重]

降雨や河川の流水が地盤内に浸透して形成される地下水は、大きく分けて二種類に分類される。一つは「不圧地下水」と呼ばれているもので、比較的浅い地層に存在し、圧力を持っていない。このような地下水は「自由水」とも呼ばれる。それに対して比較的深い地層に存在するのが「被圧地下水」である。この地下水は、帯水層の上部に粘土層が存在して不透水層を形成し、さらに圧力が加わっている。一般にその圧力は深くなるほど大きくなり、粘土層が厚いほど、つまり上部に多くの粘土層が存在しているほど

と大きくなる。

図1-1は、地下水全体の状況を模式的に示したものである。山地に降った雨は山間の谷を流れて川となり、平地の降水も集めて、やがて海に注ぐ。しかし、雨水のすべてが川となって流れるのではない。河川水のような表流水となるもののほかに、空気中に蒸発するもの、そして地下に浸透して地下水になるものがある。

また、河川水もそのすべてが表流水になるのではなく、流れの途中において一部が地下に浸透していく(反対に地下水が再び河川水として流れ出ることもある)。したがって、河川が存在している地域においては、必ずその河川の周辺に地下水が存在し、河川とほぼ同じ方向に流れている。河川近傍の地下水は、特に伏流水と呼ばれる。

千年の歴史を支えた水は、今どのような状態で地下に蓄えられているのか……。それまで抱えてきた疑問を次々と楠見さんに投げかけた。

「近くにおもしろいところがあるんです。これからそこに行ってみませんか」

と楠見さんは言う。京都の地形の特殊性を肉眼で確かめられる場所があるというのだ。われわれを乗せた車は城陽市の西隣に位置する八幡市に向かった。窓の外の景色を眺めながら、楠見さんがこうつぶやいた。

「今見えている大きな川が淀川です。ご存知の通り、淀川は大阪湾に流れ込んでいます。京都盆地に降り注いだ雨が、盆地の外に出るルートは、この淀川しかないのです」

淀川は大阪の川というイメージが強かったために、すぐには理解できなかった。鞆から地図を取り出して確かめた。

鴨川は京都市内をほほまっすぐに南の方角に流れている。途中で桂川と合流し、名称も桂川と変わる。次に木津川を合わせた宇治川と合流し大河となる。そして京

都盆地から出て行くわけだが、そこから淀川という名称が変わる。京都盆地は四周を山に囲まれている。山に降った雨はすべて盆地の中に流れ込む。その水は川となつて盆地の外に出ようとするのだが、すべての川は最終的に一つの川に収束する。それが淀川だ。楠見さんが続ける。

「これが何を意味するか考えてください。京都盆地の水を考えるにあたって最も重要な点なのです。京都盆地から出る川が一つということは、京都盆地の水の出口はわずか一カ所しかない、ということになるのです」

一瞬納得したのだが、すぐに疑問が湧いた。地表面ではそうかもしれないが、地下からしみ出る水はないのだろうか。

「それがそうではないことを見せるために、お連れしたのです。もうしばらく待つてください」

車は石清水八幡宮いわしみずはちまんぐうが建つ小高い山を登っていく。車を降りると、楠見さんは神社とは反対の方角にある展望台へと誘った。ここは京都盆地の西の端。左右を見渡せ

ば京都盆地が一望できる。そして眼下には三本の川が合流している地点が見える。桂川（鴨川の下流部）、宇治川、そして木津川。合流した後の大河が淀川だ。楠見さんが説明する。

「この三つの川が合流している地点が、京都盆地で唯一の水の出口です。この出口は京都盆地全体の大きさから見ると、きわめて小さい。川を挟み込むように小高い山が迫っているからです。こちらが男山^{おとこやま}。そして向こうが豊臣秀吉が明智光秀を討ったことで知られる天王山^{てんのうざん}です」

天正十年（一五八二）、信長を暗殺した光秀は、一時姿をくramsすために本能寺から京都盆地を取り囲む山に逃れた。そしてこの天王山山麓の山崎で秀吉に敗れ、天人となる野望をうち砕かれた。敗走した光秀が山科で農民に襲われ殺害されるのはその直後である。その戦国の悲劇の舞台が目の前の天王山、そしてそれと向かい合うようにして屹立するのが男山だ。楠見さんが続ける。

「天王山も男山も、そしてそれに連なる京都盆地を取り囲む山も、すべて古生層と

いわゆる地質でできています。そしてその古生層の山は、今見ている部分だけではなく、深くの地下までつながっています。京都盆地全体が巨大な古生層の基盤の上にあるのです」

「古生層」とは、およそ三億から一億五千万年前にできた大昔の地表面である。その後、古生層には地殻の変動による大きな起伏が生じた。凸の部分が現在の山。凹の部分が盆地である。くぼんだ部分にはその後土砂が堆積して今の地表面となった。古生層の特徴の一つはきわめて硬い岩盤である点だ。先述したようにこの岩盤は水を非常に通しにくい。したがってその上にはどんどん水が溜まる。京都盆地の地下はすべてこの古生層の岩盤で形成されている。岩盤のくぼんだ部分の中に大量の水が蓄えられているというのだ。

そして「地下水が地下から大阪湾方向へ流れ出ることはないのか」という疑問には、楠見さんは次のように答えてくれた。

——岩盤のくぼみがきれいなすり鉢状であれば、水はすり鉢の中に溜まる一方で、

外に漏れ出すことはない。地下の岩盤の形状は肉眼で見ることではできないが、地表の川の流れからある程度推測できる。川はすり鉢の欠けた部分を通りぬけ、海へと向かうケースが多いためだ。水が流れ出るかどうかは岩盤のくぼみの形状にかかっている。京都盆地の場合は、三つの川が流れ出るのは一カ所（天王山の麓の三川の合流地点）しかない。ここがすり鉢の欠けた部分にあたると考えられる。問題はその「欠け具合」である。この地点の岩盤が深いところにある、つまりすり鉢が深く欠けていれば大量の地下水が京都盆地から流れ出ていくことになってしまう。しかしこの「欠け具合」はきわめて浅いことがこれまでの調査でわかっている。つまり京都盆地の場合、地下の水の出口はきわめて狭く小さいのである――。

このことは大変重要な意味を持つ。結局、京都盆地とその周囲に降る雨は、蒸発したり地表を流れたり、人が使用したりする分を除いて、そのほとんどが地下に蓄えられるのである。すり鉢にはほとんど水が溜まる。溢れた水は、小さなすり鉢の亀裂（天王山の麓）からちよろちよろと出ていくだけなのだ。

いったいこの盆地の地下にはどれだけの水が蓄えられているのか。その全貌をこの目で見てみたい。これまで誰も見たことのない地下の水の世界を見てみたいと思った。

天王山の麓を流れる淀川を眺めながら、私は楠見さんに単刀直入に切り出した。

「現代の科学技術の力で、地下の世界をわれわれに見せてください」

しばらく考えた後、楠見さんはこう答えた。

「どこまでできるかはわかりませんが、やってみましょう」

関西大学土木工学科にある楠見研究室での作業は、結果的に一年がかりの大変なものになった。

まずとりかかったのは、京都の地下の岩盤の大きさと形を画像化することであった。岩盤はすべてが地下に埋もれているわけではない。天王山や男山のように京都盆地を取り囲む山は、山肌が薄い土を被っているというものの、岩盤が地表まで

現れているものと考えてよいだろう。それでは盆地の平野部はどうか。盆地の中でも山の麓の地域は、ごく浅い部分に岩盤がある。もともと山だった部分に土砂が堆積し、今では平野になってしまった地域だからである。そして岩盤の深さは山から離れるにしたがって徐々に深くなる。こうした目に見えない岩盤の深さを調べることに、岩盤全体の形状を明らかにしようと試みた。盆地のあらゆる地点を掘り下げ、その岩盤に突き当たるまでの深さを調べれば、岩盤全体の形がわかるというわけである。

もちろん実際に京都中を掘り下げることが不可能だが、データを集めることはできる。大きなビルやマンションを建築する時には、必ずボーリング調査が行われる。そのデータを集めることができれば、岩盤の深さもわかるはずだ。

楠見さんがはじめに取りかかったのも、そのボーリングデータの収集だった。楠見さんは全国さく井協会近畿支部という井戸を掘削する業界の団体と京都市に依頼し、八〇〇〇カ所におよぶボーリングのデータを入手した。そしてそれを一本一本

丹念に解析した。

しかし、何日も夜を徹して行われた作業の大半は徒労に終わった。

「思ったより困難な作業になりそうですね。八〇〇〇本ものデータがあれば、かなりの地点で岩盤の深度がわかってくると思ったのですが、ダメでした。岩盤が深すぎて、通常のボーリング調査ではそこまで届いていなかったのです。実際岩盤まで届いたボーリングの地点は、山に近いわずか数カ所だけでした。ほかの手段で調べてみるしかないですね」

この結果は残念だった。あきらめざるをえないかとも思った。しかし楠見さんはすでに次の方途を考えていた。

「京都大学の竹村恵二さんのところに一緒に行ってみませんか。反射法のデータが得られるかも知れません」

数日後、京都大学大学院の理学研究科の学舎を訪れた。竹村さんは、平成十年か

ら京都市消防局防災対策室が進めている地層調査プロジェクトのメンバーだ。調査の目的は、京都市内の活断層の所在を明らかにすることにある。平成七年の阪神淡路大震災をきっかけに人口に膾炙かじするようになった活断層が京都にも存在するということが始められた研究である。われわれの関心は岩盤の深さにあり、活断層とは無縁なのだが、この調査の過程で岩盤（基盤岩）の深度も割り出せたというのである。竹村さんたちのチームによって作成された京都市の地下構造を表わした図（七十四ページ）を見ると、サンドイッチ状に地層が積み重なっているのがわかる。

太古の昔、京都盆地は現在は地層の一番下になっている基盤岩がむき出しの状態だった。そこに海水が流れ込んだ。海水準は、長い年月の間に何度も上下した。京都盆地にも天王山と男山にはさまれた狭い出口から（今度は入り口になるわけだが）海水が入ってきた。海の底には粘土が沈む。海水の下になった京都盆地にも粘土が堆積した。やがて海水準が下がり京都盆地から海岸が後退する時代が訪れる。する

と盆地には川が流れ込む。川は山肌を削り小石や砂を盆地に運ぶ。それが砂礫である。そしてまた海水準が上がり海水と粘土の時代へ……、という具合にサンドイッチ状に粘土と砂礫が堆積していった。京都盆地の場合、南から北に向かつてきれいなサンドイッチの形状が続いている。それが途切れているのが、今の丸太町通り（京都御苑の南側を走る東西の通り）のあたり。つまりここまでは、ある時代には海だったということが、竹村さんが示した図によってわかる。

このような図の作成に用いられたのが「反射法」と呼ばれる調査方法である。調査の手順はこうだ。まず調査地点に地震計を置いていく。そしてそのすぐ脇に巨大なトラックをつける。トラックの下から、厚い鉄板のような物が地面に向かって降りていく。その鉄板が接地して数秒後、轟音をあげながら地面が揺れる。人工的に地震を起こすのだ。これを延々と数キロメートルにわたって繰り返ししていく。それぞれの地点で地震の影響を測定し、そのデータをコンピューターで解析していくことにより、地下の構造を明らかにしていくのである。もともとは砂漠などで石

油を発見するために考案された方法という。

地震が起きると「地震波」という特殊な波が生じる。その波は地下に伝わり、地中の粘土や砂礫や岩盤にぶつかってまた地上に戻ってくる。その戻ってくるまでの時間は粘土、砂礫、岩盤という地下の地質によって異なる。その時間差を計測することにより、地下の構造がわかるといのである。これは、地面を直接掘削することなく見えざる地下のあり様を知る最新の探査法である。実際には多額の費用がかかるため、学術調査ではなかなか利用できないのだが、幸運なことに活断層調査の副産物として、岩盤の深さを知ることができたのである。

竹村さんをはじめとする調査メンバーと京都市の協力を得て入手したこのデータをもとに、楠見さんは京都の地下構造の三次元画像化を始めた。

しかし、問題が残っていた。反射法の調査は京都市内でしか行われていない。京都盆地は城陽市や八幡市など、京都市の南に大きくひろがっている。その全体像が

つかめなければ、京都盆地全体の地下水の埋蔵量はわからない。残りの地域はどのように調べたらいいのか。

それには、反射法ほど正確ではないのだが、地上の重力の差によって地下の岩盤の深さを推測する方法が用いられた。

「えっ！ 重力ってどこでも同じではないの？」

と思ったのだが、楠見さんによると、地下の構造によって重力にわずかな差がでるのである。現代の科学技術のすごさには、ただただひれ伏すばかりだ。

科学技術の粋を駆使することで、京都盆地の地下の構造が画像化されたのは、平成十三年秋のことだった。楠見さんと出会って、半年以上が経っていた。

楠見研究室のコンピュータのスイッチを入れる。まず四方を山に囲まれた京都盆地が画面に現れる。カーソルを動かすにしたがって画面が立体化される。そして徐々に視点が地下に降りていく。いったいどのような地下世界がひろがっているの

か。

次の瞬間、あつと息をのんだ。地下には、岩盤でできた巨大なお碗のような穴が口をひろげていた。楠見さんが言う。

「東西十二キロメートル、南北三十三キロメートル。最も深いところで深さは八〇メートル近くにおよびます」

この巨大な穴の中に水がたたえられている。まさに天然の地下の水甕である。最深部は、地上でいうと京都市南部の伏見区から久御山町あたりに位置していた。ここにはかつて巨椋池おぐらいけと呼ばれる大きな遊水池があった。昭和八年に干拓され、今はその面影をとどめないが、かつては六〇〇ヘクタールを超える巨大な池であった。

巨椋池は地下の水甕の中心部、つまり京都盆地の最も低いところに位置することが、この調査で初めてわかった。

楠見さんが最も関心を寄せていたのは、水の出口だ。調査前の推測通り、出口は天王山の麓の一カ所だけだった。それもごく浅いものであったことが確認された。

地下水は入る一方でほとんど出ていかない。この巨大な水甕は、常に満々と水が蓄えられる構造をもっていた。計算によると総量は二一億トン。琵琶湖（二七〇億トン）に匹敵する莫大な量だ。コンピュータの画面を見ながら楠見さんがつぶやいた。

「まさに水を溜めるには理想的な地形です。予想はしていましたが、実際に見て驚きました。古代の人は、たまたまかも知れませんが、ここに平安京を築いた。それが千年続いたのは、まさにこの地形のおかげだったのででしょう……」

——地下に眠る巨大な水甕。それが今、永い眠りから目覚めわれわれの前に姿を現した。その姿は、まさしく京都千二百年の命脈を支えるにたる壮大なものであった。科学技術の力が歴史の謎を解き明かした瞬間だった。