

地下水盆の地下水とその調査

石井 武 政¹⁾

1. まえがき

地質調査所では現在、工業技術院特別研究「生活環境に密接な地域地質要素の調査・解析手法開発の研究」を実施している。本研究は都市の市街地から周辺域までを含む土地に係わる環境を、都市地質、斜面地質、水文地質の3要素に分けて、それぞれの分野からできるだけ具体的な問題点を抽出し、それらの精細な解明と調査・解析手法の開発を行おうというものである。そのためのモデル地域として、本研究では仙台平野と山形盆地とが選定されている。

仙台平野は政令指定都市仙台市を含み、仙台湾に臨んでいる。また、山形盆地は山形市を含み、行政区分上、奥羽脊梁山脈を挟んで仙台市に隣接している。これら仙台平野と山形盆地は、水文地質の観点でいずれも地下水盆を構成する。そこで、地下水盆における地下水の一般的な賦存状況とその調査のあり方について、誌面を借りて概説してみたい。

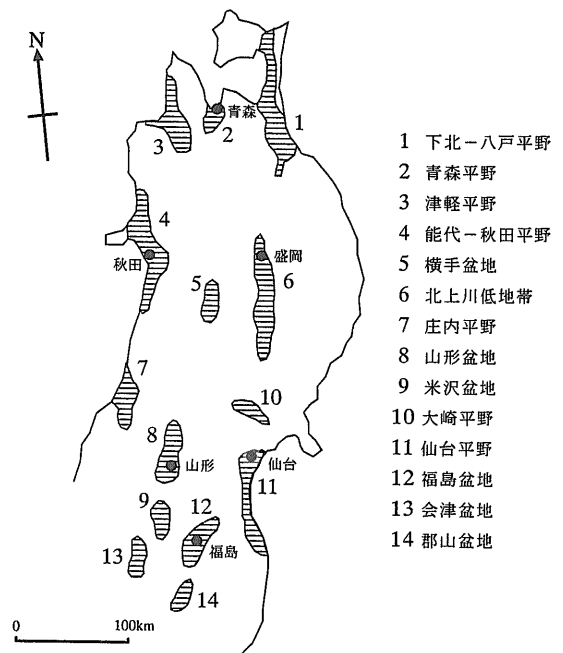
2. 地下水盆

日本には、かなりまとまった量の採取可能な地下水が賦存する地域として平野や山間盆地、成層火山体、あるいは石灰岩層分布地帯などがある。これらのうち平野や山間盆地には主として第四紀の堆積物が分布しており、降水から涵養を受けやすく、かつ地下水を貯留しやすい地質構造をもつ透水性の大きい帯水層が発達している。このような帯水層が1層もしくは複数層あって、水文地質的に一連の関係にある範囲を地下水盆と呼び、日本では

通常、個々の平野や山間盆地がこれに相当する。

地下水盆は地域的な広がりをもつ水文地質の単元であるが、東北地方における主要な地下水盆の分布を木野(1979)から抜粋して第1図に示す。ここには帯水層がまとまって広域に分布し、垂直的にも深度100m以上にわたって何層も含まれる地下水盆が示されている。東北地方では仙台や秋田、庄内などの海岸平野および横手、山形、米沢、福島、郡山などの構造性山間盆地が主要な地下水盆であり、特に山間盆地には砂礫層を含む第四紀層が厚く堆積して、有力な被圧帯水層が存在する。

地下水盆中の帯水層のほとんどすべては第四紀



第1図 東北地方における主要な地下水盆の分布(木野, 1979から抜粋して加筆)。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 地下水盆, 帯水層, 仙台平野, 山形盆地, 地下水調査

の砂層・礫層といった粗粒堆積物を主体としており、それら粗粒堆積物が厚く、側方に連続して分布している場合には、そのような粗粒な碎屑物質が供給され、かつ堆積する場があったことを示している。すなわち、碎屑物質の供給源である後背地の相対的な隆起と堆積域の沈降とが、第四紀のある時期にほぼ同時に進行したことを物語る。したがって、地下水盆を構成する有力な帯水層は、その地域の構造運動の結果を反映している。

一方、第四紀は海水準が大きく変動した時代でもある。海水面の低下期には、一般的に粗粒碎屑物の供給・堆積と古い地形面の削剥とが起り、海水面上昇期には細粒碎屑物がこれらを被覆して堆積するということが生じる。海に面した地下水盆では海水面上昇に伴い、海成層が内湾奥深くまで形成されることもある。このようなことから、地下水盆中の地層は、粗粒堆積物と細粒堆積物が交互に累重した地質構造を呈しているのが普通である。

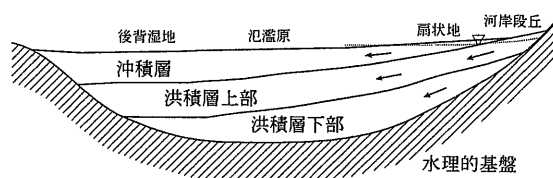
3. 盆地型と海岸平野型

地下水盆は模式的にはどのような断面形態をとるのだろうか。木野(1979)は地下水盆を盆地型(1)、盆地型(2)、海岸平野型(1)、海岸平野型(2)および海岸平野型(3)の5種に大別したが、ここではそのうちの盆地型(2)と海岸平野型(1)を例示する(第2図)。

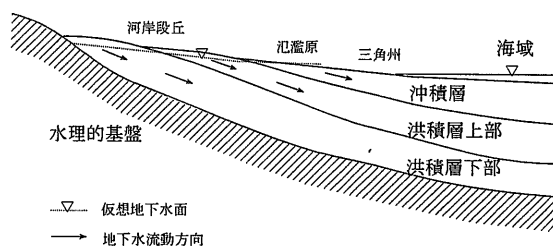
盆地型は周囲を一般に難透水性の水理的基盤で囲まれたもので、人為作用を除けば地下水と地表水とは通常は1本の河川によって域外に排出される。海岸平野型は海に面した平野部にあり、地下水は海水とのバランスをとりながら最終的には海域に排出される。注意すべき点としては、関東平野や濃尾平野は複数の河川が海にまで流下しているが、水文地質構造の上では盆地型に含まれることである。

盆地型(2)は碎屑物の供給方向が偏っているため、片方が水理的基盤にアバット(地層の層理面が基盤に対してぶつかるように斜交している状態)した形態をなしている。この場合、帯水層はその片側が地表に露出し、反対側に向かって深度を増す

盆地型(2)



海岸平野型(1)



第2図 盆地型(2)および海岸平野型(1)の地下水盆の構造(木野, 1979から抜粋して改変・加筆)。

とともに細粒化していく。このため降水からの地下水涵養は、第2図に示した沖積層に対しては直上からもなされるが、洪積層に対しては主として片側からのみ行われる。一般に露出部に近いところの地下水は不圧性であり、盆地の中央に向かって細粒の難透水層に覆われてくると地下水は被圧性となる。山形盆地は大局的に盆地型(2)に相当する。

海岸平野型(1)は帯水層を含む各地層が緩やかに傾斜して、水理的基盤にほぼ平行するような形態で延びている。この型では地層は海に向かって次第に細粒化していくのが普通である。盆地型(2)と同様に、降水からの地下水涵養は沖積層に対しては直上からもなされるが、洪積層に対しては主として片側からのみである。

なお、海水との関係を見ると、海岸平野型(1)では沖積層の最上部に対して、満潮に伴う海面上昇や揚水による地下水位の低下によって海水の浸入が容易に起こりやすい(木野, 1979)。それよりも下位に位置する被圧帯水層に対しては、揚水によって被圧地下水の水頭圧が海面よりも下がると、動水勾配が逆転して海水の浸入が発生する(村下, 1982)。仙台平野はこの海岸平野型(1)に属する。

4. 帯水層の地質時代と岩相

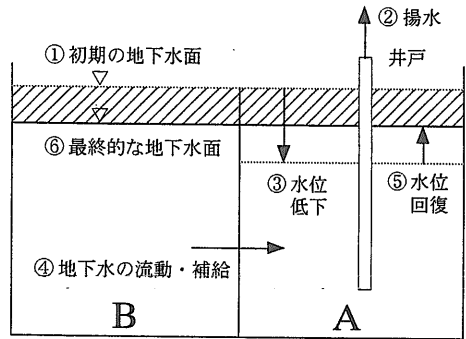
地下水盆中の主要な帯水層のほとんどすべては第四紀の砂層・礫層を主体としている。この第四紀はおよそ1万年前を境にして、それ以前の更新世と以後の完新世に分けられ、各時代の堆積物はそれぞれ更新統、完新統と呼ばれる。これら更新統、完新統という区分のほかに、地下水や鑿井の分野では洪積層、沖積層という用語が広く用いられている。洪積層および沖積層は、2万～1万8,000年前の最終氷期最盛期を境に区別された洪積世、沖積世それぞれの時代の堆積物である。つまり、沖積層は更新統の最上部と完新統の双方を含んでいる。

洪積層は何回も繰り返した海水準変動の影響を受けた堆積物であり、模式的には高位・中位・低位の各段丘堆積物およびそれらに時代的に対応する地層からなる。洪積層中には地表近くに不圧地下水が、平野や盆地の地下に被圧地下水が賦存する。これに対して、沖積層は典型的な海岸平野では下部・中部・上部に分けられ、下部と上部には砂質で比較的粗粒な堆積物が、中部には最大海進時に対応したシルト層・粘土層などの細粒の堆積物がある。いずれも未固結であり、一般に上部には不圧地下水を、下部には被圧地下水を胚胎する。また、河谷沿いの沖積層は扇状地性の砂礫層や氾濫原をなす砂質層を伴い、いわゆる伏流水が存在する。

5. 被圧地下水の流動と補給

これまで述べてきたとおり、地下水盆には帯水層となりうる粗粒堆積物と難透水層を構成する細粒堆積物とが幾層にも交互に累重している。その結果、自然の状態では、地下水は難透水層を挟む上下方向には流動せず、1層の帯水層内を圧力の勾配に従って側方に移動する。その移動速度は、特に被圧帯水層では遅く、さらに盆地型の地下水盆のような閉じた水文地質構造のところではほとんど停滞していると言ってもよい。

しかし、現実には、地下水盆の被圧帯水層に到達する多くの水井戸が掘削されており、盛んに揚水が行われている。揚水という人為的作用が加わ



第3図 地下水盆における被圧地下水の流動モデル(新藤, 1979に加筆). A地域の井戸で②の揚水が行われて①の初期地下水面が③まで下がると、B地域との間に水位差が生じ、④の地下水流動・補給が発生する。次いで揚水が停止すると、水位は⑤のように回復し、A地域B地域ともに⑥の最終的な地下水面で平衡に達する。結局、揚水によって斜線の部分に相当する地下水が減少したことになる。

ると、被圧帯水層中の地下水流動は活発になり、揚水に見合った分だけの補給が必要になってくる。この補給は通常は側方からなされる(第3図)が、揚水が過剰になると難透水層からの絞り出し、あるいは臨海部では海水を呼び込む海水浸入といった形で進行する。補足すれば、地下水障害の大部分はこのような過剰な揚水に起因しており、山形盆地における地盤沈下や仙台平野の地下水の塩水化現象はその例である。

さて、地下水盆の被圧帯水層を流れる地下水は、もともとは降水に由来している。第2図からも明らかなおと、盆地型(2)と海岸平野型(1)の地下水盆では降水からの涵養は片側で行われ、しかも深部の地下水ほど、地下水盆の中央部あるいは海岸線から遠ざかった位置からもたらされる。このことは、帯水層が複数あるとき、その層準ごとに地下水の性質に微妙な差異を生じさせる。

6. 地下水の調査

自噴井から湧き出る水や浅井戸の水を除くと、地下水は容易には見ることができない。そのような地下水を調べるには、かなり長い期間と現地や実験室における分析・測定 of 繰り返しが必要となる。これは、あるインパクトに対する応答が地下水では

相当に遅れることと、地下水そのものがその速度はともかくとして常に流動していることによる。例えば、帯水層によっては融雪水など冷たい水の浸透の影響が数ヶ月も経って現れ、地下水温の最低が冬季ではなく夏季に観測されることがある。このため、地下水盆の地下水調査では、短くても1年(1水文年)にわたる水文データ収集と、その間の渇水期と豊水期という2度の現地調査が行われる。

次いで、前述した地下水の補給という面からみても分かるとおり、地下水はシステムとして存在している。換言すれば、地下水は揚水、流動、水位低下、補給といった具合に、一つの出来事が次の出来事へと波及していく性質を有している。したがって、地下水の調査では、地下水の現象は必ず周囲の様々な要素と関連しあっているので、時間的にも空間的にも全体の中での位置づけを見極めることが重要である。

筆者らのグループによる山形盆地の事例では、地下水位や地下水温については自記記録計で通年観測し、水質や同位体などはできるだけ複数回の分析を行うようにしている。また、自治体や関係官署を通じて井戸分布、井戸深度、揚水量、地盤沈下量などの把握に努めている。さらに、山形盆地の地下水は東側の蔵王山から流れ出る河川水の影響を強く受けているので、河川の流量観測や山地の降水採取をも実施している。

地下水盆という広域の地下水を調査しようとする場合には、地元との関係も抜きにしては考えることができない。地下水利用が盛んで、揚水に伴う公害問題があるところでは、地方自治体に地下水を担当する係があり、また必ずと言っていいほど関連事業者の集まる協議会組織が作られている。このような自治体や協議会、あるいは個々の地下水利用者への説明と聞き込みは調査の行方を左右する。地元には現地の地下水に対する高い関心から、既に膨大な量の地下水情報が集積されているものである。調査する側からみて、この情報の一端でも事前に知ることができれば、現地調査の計画と実施に当たって無駄を省くことにつながる。

7. 地下水調査の記録—あとがきに代えて

どのような調査においても、正確な記録を残すことはきわめて重要である。そのためには調査に適した機器を正しく取り扱い、得られたデータを誰もが分かる形式で残さなければならない。また、記録は調査者の手元のみ保存するのではなく、できる限り公開されることが望ましい。情報公開の流れが定着しつつある今日、地下水に関する様々な記録も、多くの人々が利用できるように整備していくのが賢明である。

ただし、記録を公開するに当たっては、今後、記録形式を規格化あるいは統一する手立てが必要となる。これは調査する人によって記録の取り方がまちまちになることを防ぐためである。その一助としては、地下水データや井戸データを一定の形式のもと全国規模でデータベース化し、広く普及を図ることが重要な課題となるであろう(丸井ほか、1996)。

本文では地下水盆における地下水の性状やそれに対する調査の要点について、個々の事例というよりもできるだけ一般的な事柄を記述した。山形盆地や仙台平野での調査は継続中であり、次第に具体的なデータが集まってきている。それらの専門分野ごとの取り組みと調査手法の実際は、本誌上でこれから報告されていく予定である。

参 考 文 献

- 木野義人(1979):日本における地下水の賦存状況。地下水ハンドブック、建設産業調査会、p.555-563。
丸井敦尚・安原正也・石井武政(1996):地質調査所版井戸データベースの概要。地質ニュース、no.502、59-62。
村下敏夫(1982):本邦における地下水の塩水化。地質調査所月報、Vol.33、p.479-530。
新藤静夫(1979):地下水調査の基本的事項。地下水ハンドブック、建設産業調査会、p.223-226。

ISHII Takemasa (1997): Groundwater and its survey in a groundwater basin.

< 受付: 1997年2月20日 >