

そもそも「地下水」って何？

「はじめに」で書いたように本書の主役は地下水なのだが、そもそも地下水とはどのようなものを指すのだろうか。実は研究者によって見解の相違もあり、地下水の研究や技術者ら専門家でつくる日本地下水学会も、明確な地下水の定義をまとめてはいない。最も広い定義では、地下水とは、文字通り「地下にある水」のすべてをいう。

「水の惑星」ともいわれる地球だが、地上に存在する水の大部分は、海水である。真水、つまり淡水はごく一部のものだ。淡水の中には河川や湖沼の水、雲の水（凝結した水蒸気）などがある。地球温暖化との関連で最近注目されている、グリーンランドや南極の地面の上にある水（氷床）や水河も、淡水である。そして、地下水のほぼ半分が淡水である。

淡水のうち、河川、湖沼、ため池など、陸上にあつてわれわれが簡単に目にすることができ、水が「表流水」である。これに対し、地面より下にある水の総称が「地下水」である。これが最も広義の地下水の定義だ。地下水が形成されるまでの過程はさまざまなのだが、大部分は雨や雪などの降水が地面にしみ込んだ結果、地下水となったものである。地面の下の地層の中で、地下水を大量に含む水の通りがよい地層を「帯水層」と呼ぶ。

地下水は地球にどれだけある？

それでは地球上に地下水は、いったいどれだけあるのだろうか。

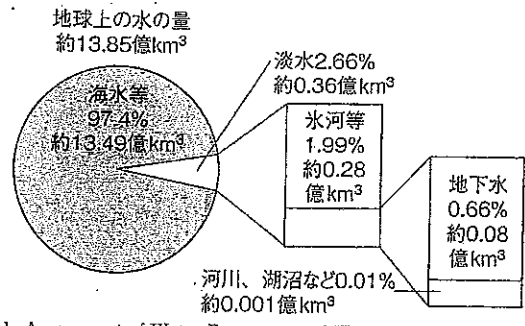
まず、地球上にどれだけの水が存在するのか、から話を始めよう。「水の惑星」地球には、推定で「三億八〇〇〇万立方キロメートル」という大量の水が存在する。表1-1と図1-2を見ていただければわかるように、その約九七・四％にあたる約三億五〇〇〇万立方キロメートルは海の水だ。真水、つまり淡水は地球上に存在する水のわずか二・七％ほどしかない。そして、淡水のうち最も多いのが雪や氷の形になっている水で、二七五〇万立方キロメートルと全体の二％近くを占める。ほとんどが南極やグリーンランドの氷床を形成する水だ。つまり、淡水の半分以上は遠い極地で氷になっていて、利用が難しいということになる。

その次に多いのが地下水だ。総量は八二〇万立方キロメートル、地球上の水全体の〇・六六％。それに比べて、表からもわかるように湖沼の水はわずか〇・〇一％、水全体のわずか〇・〇一％だけ。最も身近な河川の水にいたっては〇・〇〇〇一％でしかない。飲み水や農業、工業用水などに人間が使える淡水資源として、湖沼や河川よりはるかに量の多い地下水が人類にとっていかに重要であるかがわかるだろう。

地下水の「平均寿命」は六〇〇歳

ところで、表1-1の中央の列は、地球上でそれぞれの形の水が流動している量を示している。また、一番右の列は総量と流動量から割り出した平均の滞留時間を示している。一カ所にとどまっている湖沼の水は全部が入れ替わるのに膨大な時間を要するのに対して、同じ淡水でも、地上を流れる河川の滞留時間は短い。地下水の場合、滞留時間とは、最初に雨として地上に降り注ぎ、地下水となったのちに、湧出するまでの時間のことであるから、いわば地下水の一生の長さ、「寿命」のようなものである。地下水の流動の状況は場所によって大きく違うが、平均すると地下水は約六〇〇年ですべてが入れ替わる、ということになる。つまり、「平均寿命」は六〇〇歳といわけだ。

ただ、地下水の滞留時間は地質条件や地下水の存在形態によって大きく異なる。表1-3は、日本や世界各地の地下水の滞留時間に関するデータをまとめたものだ。黒部川扇状地の砂丘の地下水の滞留時間は〇・一四年と非常に短く、循環速度を決める地下水の流れが非常に速いことを示している。一方で、東京湾岸の深層地下水の滞留時間は二〇〇年以上と日本の中ではかなり長い。



地球の水の量 約13.85億km³
海水等 97.4% 約13.49億km³
淡水 2.66% 約0.36億km³
水河等 1.99% 約0.28億km³
地下水 0.66% 約0.08億km³
河川、湖沼など 0.01% 約0.001億km³

	貯留量 (km³)	循環量 (km³/年)	滞留時間 (年)
海水	1,348,850,000	425,000	3,173.8年
水河	27,500,000	3,020	9,106.0年
地下水	8,200,000	14,000	585.7年
土壌水	74,000	84,000	0.88年
河川水	1,700	24,000	0.07年
淡水湖	103,000	24,000	4.29年
塩水湖	107,000	7,590	14.10年

表1-1 地球上の水の量と滞留時間 (『環境年表』[九巻]より)

地域	帯水層	年齢(年)
オーストラリア	大嶺盆地	1,100,000(最大)
エジプト	サハラ砂漠東北部	45,000(最大)
シナイ半島	西端の泉と死海近くの井戸	約30,000
テキサス州	カリソ砂岩	27,000(最大)
中央ヨーロッパ	深度100~800m	10,000~10,500
南アフリカ	カラハリ砂漠	430~33,700
ベネズエラ	マラカイボ市	4,000~35,000
ハワイ州	オアフ島	100
インディアナ州	水河堆積物	25
韓国	済州島	2~9
旧チェコスロバキア	山地小流域からの地下水	2.5
ニュージーランド	ワイコロア泉	0~20
黒部川扇状地	黒部川から離れた100m以深	25以上
	黒部川近傍の100m以深	13~25
	黒部川から離れた50m以浅	7~13
	黒部川近傍の50m以浅	0~7
	芦崎砂丘	0.14
那須岳周辺	低水時の河川水(流出した地下水)	2~3以上
関東地方の小流域	低水時の河川水(流出した地下水)	5
会津盆地	自噴井深度30m	13
	深度50m	21
千葉県市原市	養老川流域150m以浅	0~30
瀬戸内海の小島	花崗岩の基盤	0~30
岩手火山	山麓湧水	17~38
八ヶ岳	山麓湧水	1~100
東京湾岸	深度200~2,000m	2,840~36,750

表1-3 いろいろな地下水の年齢 (『環境年表』[九巻]より)

世界にはさらに滞留時間が長い地下水が多く存在する。表の一番上、オーストラリアの大嶺盆地の地下水(130ページのコラム参照)には、なんと一〇〇万年以上とされているものがある。図1-4は、地球上の水の循環を示したものだ。地下水の循環は、「涵養」「流動」「流出」という三段階からなる。すでに述べたように、地下水とは雨や雪の形で降った水が地下に浸透して水脈となったものであり、降水が地下水となることを涵養(リチャージ)という。涵養地域で地下に浸透した地下水は、帯水層をゆっくり流動し、やがて流出地域で湧出する。湧水のような形で地上に流れ出たり、河川に流れ込んだり、人間にくみ上げられたりした地下水の一部は蒸発

し、多くはやがて海に注ぐことになる。これが「平均寿命六〇〇歳」といわれる地下水の一生である。そして、海から蒸発した水が雲をつくり、再び雪や雨となって地球上に降り注ぎ、その一部が再び地下にしみ込んで地下水を「つくる」ともなるのである。

石油と同じ「一回限りの資源」

地下に存在する地下水の量を貯留量というが、これは雨などによって涵養される水の量と、流出量との差によって決まる。さまざまな理由で涵養量が少なくなったり、くみ上げなどによって流出量が増えたりすると、当然のようにその場所の地下水の貯留量は減少し、やがては枯渇してしまう。逆に涵養量が増えたり、流出量が減ったりすれば、その場所での地下水の量は多くなり、地下水位が上昇する。場合によっては圧力が高まって地上に噴出したり、湧き出したりすることになる。

圧力が違う

本章ではしばらく、地下での水の姿や性質などに関する研究成果を紹介していこう。地下水には、地層の浅いところにあるものと、深いところにあつて圧力を受けているもの二種類がある。前者を「不圧地下水」といい、後者を「被圧地下水」という(図4-1)。

不圧地下水は、地下の浅い場所に存在することが多く、地下水面は地表の水と同じ一気圧である。昔から井戸水として飲み水などに利用されてきたのはこの不圧地下水で、われわれにとって身近で重要な地下水なのだが、人間の活動で汚染されやすいという側面もある。不圧地下水の地下水面は、次に述べる被圧地下水のように難透水層によってはさまれているので「自由地下水」と呼ばれることもある。

被圧地下水は、地下のかなり深いところに存在し、粒径の小さな粘土やシルトで形成され、水をほとんど透さない「難透水層」という地層にサンドイッチのように上下をはさまれた帯水層にある。難透水層でふたをされているので、大気圧より大きな圧力を受けている。もし、ここに井戸を掘ると、この圧力のために地上に勢いよく噴出してくるものもあり、これは「自噴井」と呼ばれる。水道水や工業用水として大量に利用されているが、この被圧地下水も利用しすぎると地盤沈下などの地下水障害が起こることがある。最近では地下水のくみ上げ量がなくなったことにより、自噴井の数も減ってきてしまった。

不圧地下水のように浅いところにある地下水を利用する井戸を「浅井戸」、被圧地下水のように深い地下水を利用する井戸を「深井戸」という場合が多い。一般的に深井戸の水のほうが、外界から隔離されているので安全性が高く、溶け込んでいるミネラル量が多いといわれている。

表1-2 地下水のいろいろな分類

- 成因による分類—地衣水、化石水、循環水
- 賦存形態による分類—層状水、裂隙水、空隙水
- 被圧の有無による分類—不圧地下水、被圧地下水
- 循環の程度による分類—循環性地下水、半循環性地下水、非循環性地下水
- 帯水層の深度による分類—浅層地下水、深層地下水

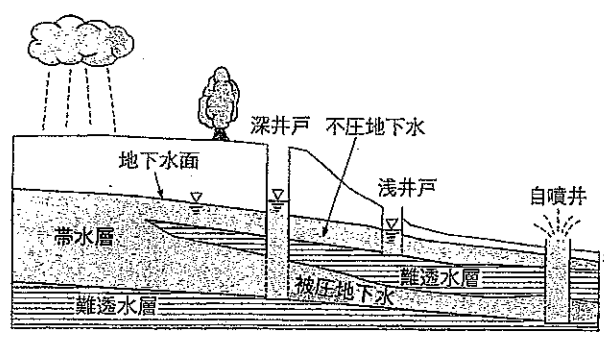


図4-1 不圧地下水と被圧地下水

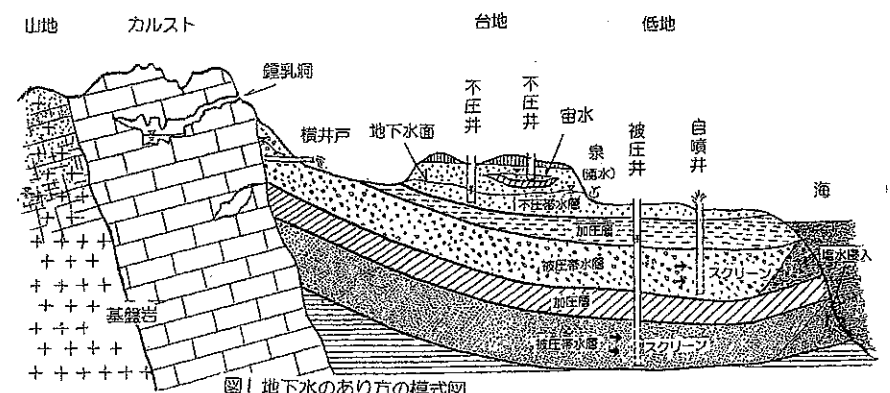


図1 地下水のあり方の模式図

流速は一日平均一メートル

「日本の地下水」という本を著した農業用地下水研究グループによると、河川の水の流速が毎秒数センチから速くても数メートル、一日では数キロから数十キロであるのに対し、帯水層の中を流れる地下水の流速は一日に数センチからせいぜい数百メートル程度で、平均的には一日一メートル程度であるという。

表4-2は地下水の流れの速さから、地下水が循環する時間、つまり水が入れ替わる時間を示したものだ。地下水が入れ替わる時間が河川などに比べて長いことはすでに紹介したが、深いところにある被圧地下水の中には、人間がくみ出しにくいばかりで、非常に安定で、動きがほとんどないものもある。

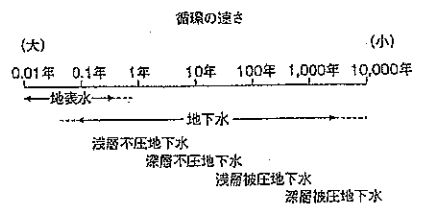


表4-2 水の循環速度 (『日本の地下水』より)

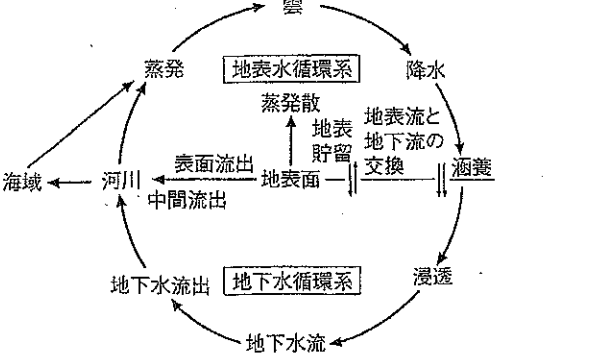


図1-4 水の循環 (『今後の地下水利用のあり方に関する懇談会』報告より)