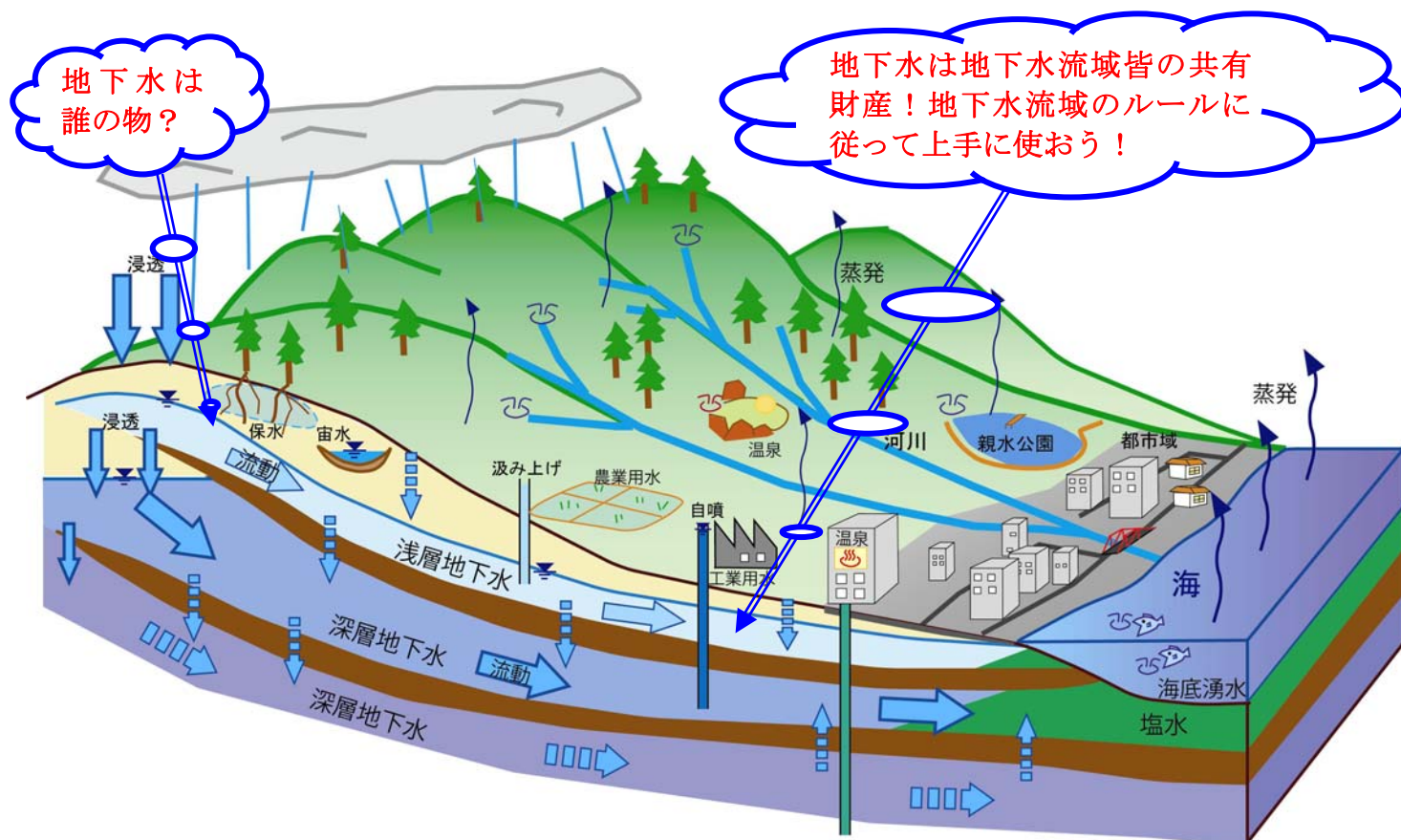


都市における地下水利用の基本的考え方 〔地下水と上手につき合うために〕

西垣 誠 監修・共生型地下水技術活用研究会 編



はじめに	1
【共生】 地下水と共生して生きる為の叡智の創造と活用（都市の地下水を中心として）	3
【恵み】 地下水の恵みとは	7
【水循環】 地球上で地下水はどのように存在しているか	9
【共有財産】 地下水は誰のものか	11
【地下水障害】 都市化に伴う無秩序な開発や地下水利用はどのような障害を引き起こすか	13
【適正利用】 地下水の適正利用とは	15
【育水】 育水によって可能となる地下水と人間との共生	17
【技術】 地下水に関わる技術の現状と課題	19
【地盤・地下水コンサルタント】 地下水と上手につき合うための叡智の創造	21

はじめに

大河流域に四大文明が勃興したのは、水なくして都市の発展が成り立たなかったからである。地下水は水の賦存形態の一つであり、井戸を介したつきあいは先史時代までも遡るようだ。我が国では万葉集（第十九－4143）で大伴家持が井戸端の様子を歌っている。

もののふの 八十をとめらが 掘みまがふ 寺井の上の かたかごの花

春の陽の下、たくさんの乙女たちがペチャクチャ喋りながら井戸水を汲みあげている傍らにカタクリの花が咲いている様子である。西暦 750 年前後の越中（富山県高岡市付近）のことである。現在でも多くの井戸が使われ、郡上市の宗祇水のように湧水が日々の生活の用をなしているところも多い。井戸水を汲み上げれば井戸内に周囲の地下水が自然と浸みだしてくる。泉水ならば地下の被圧水が湧き出している。枯れることのない井戸水や泉水が神聖化されたり、あるときは畏怖の対象にもなって、安息あるいは厄災の源泉にもなるように伝えられ、地域の信仰の中に組み入れられてきた。身近にある地下水と生活と信仰は一体だったといえる。

奈良時代と比べて、現代は都市化と地形改変が進み、建築物と表層地質は一変したが、地質の根本については切土・盛土地や埋立地、大深度地下構造物のあるところなどを除けば、ほとんど変わってはいない。雨水は地中に浸透し不透水性の粘土層上の礫層に帯水して、長い時間をかけて水頭差に従って流動する。段丘の縁の崖線に礫層が露出していれば、地下水がそこから湧水となって湧き出て、それが集まって河川となる。



ママ下湧水の一風景（東京都）

例えば、東京都国立市の青柳崖線からのママ下湧水は多摩川にでる。上水道の発達した今でも、清冽な湧水は日常生活の中で欠かせない資源であり、生活の場をつくっている。

しかし、上水道が普及するにつれて飲料用として井戸水は使われなくなり、都市では手押しポンプが消え、かつて数多くあった自然の湧水も地形改変に伴って枯れたり循環水やポンプ式に変わったりしているところが多いように見受けられる。都市生活者にとって、足下の地下水に思いを馳せる機会は皆無になったといえるかもしれない。また、過去の様々の経済活動のツケとして土壌地下水汚染が顕在化してきた。地下水も一部で汚染が報告され、水質が問題視される場合もある。さらに国民の健康志向なども手伝って、山紫水明と言われた我が国といえども、今は水といえばペットボトルをイメージするようになりつつ

ある。今後できれば、ウォータービジネスという言葉の中に水循環や水源涵養などのイメージを包含させることができれば、と思うのである。巷の本屋をのぞくと、地球環境、安全安心、スローライフ等々についての書物は数多並んでいるにもかかわらず、地下水についての書物はほとんど見あたらず、ミッシングリングのような感覚さえ覚えるのである。

例えば、水循環やヒートアイランド対策、防災用水・環境用水やCO₂削減対策などの具体的な課題に対して、足下どこにでもある地下水を利用できないのであろうか。近代、急激な工業化による水需要の増大に対して地下水を過剰に汲み上げ、地下水位が低下して地盤沈下が至るところで発生した。このため、用水二法など法制度が整えられ、徐々に地下水位も回復して沈下防止対策が功を奏してきたのである。一方、地下水位の回復は地下構造物に浮力を発生させ、浮き上がり対策が必要になってきている。また例えば、建設工事中に湧出する地下水は全て排水するのでなく、現行の法制度の下で適正利用する仕組みも考える余地があり、実施例も報告されている。また、地下水を自社利用している大企業の中には、より積極的な環境対応を模索しPRしようとする企業も見られ、より高位の環境配慮をコンサルティングしていくことも時代のニーズになるのではないか。



緑地の手押しポンプ(東京都)

降雨や融雪水の多くが一旦地中に浸透して地下水となって帯水する。地下水の賦存状況や流動状態を調査し、地下水堆や宙水や地下水瀑布などの水文地質構造を把握して、地域全体の共有資源である地下水を保全し涵養し管理し、そして適正利用して次世代に継承することが、一つの課題と考えられる。我々、地盤・地下水コンサルタントは、地下水に関する専門的技術、経験と知見から、地域の防災や環境などの向上と地域社会の発展に貢献することができるはずであり、むしろ、それが責務とも考えられる。

そうした思いを基に平成18年12月6日、地質調査業7社（現在8社）の経営者と専門技術者が集まり、共生型地下水技術活用研究会を発足した。1年間議論を尽くした成果が本基本的考え方であり、どの章から読み始めてもよいように組み立ててある。本稿が地下水に関心をもつ皆様にとって多少なりとも参考になれば幸甚である。最後に、岡山大学の西垣教授はじめご指導ご鞭撻を頂いた方々に心より感謝を申し上げる次第である。

共生型地下水技術活用研究会 瀬古 一郎

【共生】地下水と共生して生きる為の叡智の創造と活用 (都市の地下水を中心として)

現在、多くの都市域で地下水利用が規制されていますが、そもそも地下水利用は悪いことなのでしょうか？物質でも行為でも、その善悪は、人間の心の持ち方と使い方次第で決まる側面があります。

かつて都市域では水資源として地下水を無秩序に活用したことから、地下水位の大幅な低下を招き、それが原因となって公害としての広域地盤沈下を引き起こし、沿岸部にいわゆるゼロメートル地帯を創出し、都市を高潮災害の脅威に晒してきた過去があり、それに対して地下水採取規制を導入することで、地下水位の回復(上昇)と地盤沈下の沈静化という効果が得られているのが現状です。

このことは、地下水利用自体が悪いのではなく、使い方が悪かったと考えられます。地下水を利用するには、それなりのルールと方法があります。ルールを守って使い方と仕組みを工夫して利用すれば、都市住民にとって有益な水資源になる可能性があります。そのルール構築の基本的考え方を、この小冊子にまとめてみました。ポイントは、『共生』『循環』『流域の共有財産』『育水』そしてそれを支える『技術』です。

また、ここで『都市』と銘打ったのは、『都市において積極的に地下水利用を図ろう』と呼びかける主旨ではありません。『都市で地下水を利用する場合の考え方』ということで『都市』と銘打ちましたが本意は、『地下水の供給源は、その上流域の涵養域にありますし、影響は下流域に及びますので、地下水利用地域だけではなく、流域全体でのルールと仕組みが必要』と訴えることにあります。

1. 地盤沈下の脅威

かつて関東平野、特に東京の下町地域では、図-1に示すように、地下水の過剰揚水によって、50mを越える地下水位の低下を招き、4mを越える広域地盤沈下を生じました。そして、100km²を越える地域がゼロメートル地帯と化し、高潮災害の深刻な脅威に晒される事態となりました。

この状況は、東京だけに留まらず、濃尾平野、筑後・佐賀平野、新潟平野、大阪平野、その他各地の沖積平野で発生しました。この内、濃尾平野、筑後・佐賀平野、新潟平野、関東平野の4平野で、全国のゼロメートル地域の約83%を占めています。(表-1 参照)

2. 地球と人間との共生

一方、地球における人類生存の基本要件は、自然環境と人間との共生です。この共生条件の崩壊リスクが環境問題です。

また、自然環境を構成する主要な要素の1つに水環境がありますので、人間が地球上で生存・繁栄していくためには水環境と共生していかなければなりません。地下水はその水環境の一部です。

前述の通り、かつて我が国においては、地下水の大量消費によって各地に深刻な広域地盤沈下災

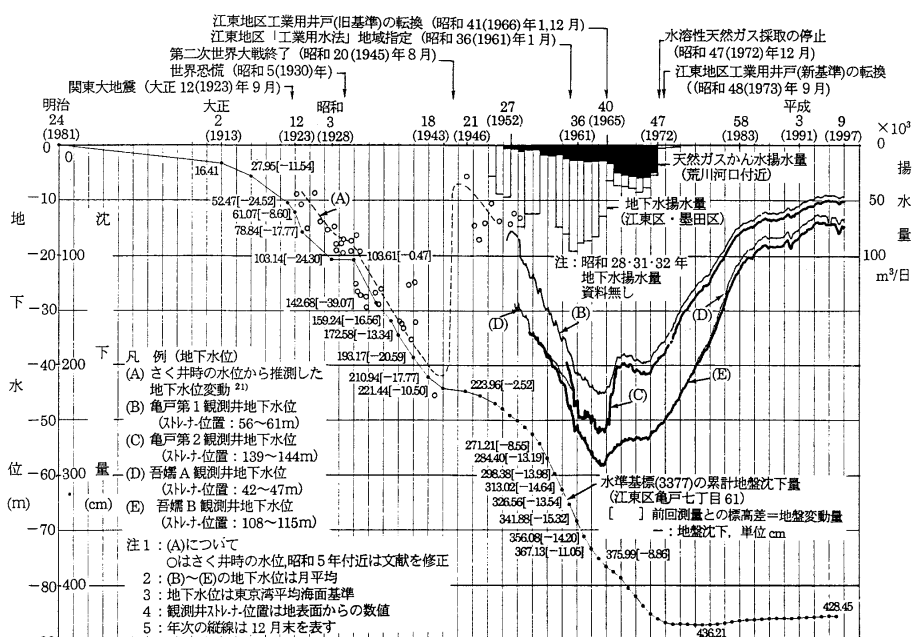


図-1 江東地区の地下水揚水量・地下水位変動および水準基標(3377)の累計沈下量の変遷¹⁾

害が生じたことから、地下水採取規制が施行され、特に都市域では地下水採取利用は事実上できない環境が一般化した感があります。果たして、都市において地下水は本当に利用できないのでしょうか？

我々は『水』は人類生存に欠かせない資源の1つという考えのもと、地下水についての『共生』という概念を見直し、自然環境(水環境・地下水環境)から『恵み』を一方的に得るだけではなく、自然環境を慈しみ育てる『育水(water harvesting)』という概念を導入・実践することで、都市部においても、適正利用可能量自体を十分確保した上で、持続可能な範囲で許容される量の消極的利用から更に発展させた地下水利用の方法が可能と考えています。

3. 『地下水が存在すること』と『地下水が使える』こととは同義ではない

柴崎²⁾は『許容揚水量とは、その地域に生活する住民にとって地下水を汲み上げることによって生ずる利益と、また生じると思われる危険性を考え合わせて、容認できる用水量』と定義しました。

この考え方は、近年のサステナビリティ(Sustainability)の考え方に共通します。

この許容揚水量の概念が適正揚水量の基本的考え方ですし、その地域とは地下水流動系を踏まえた地下水の流域全体が該当します。更に、一步進め、自然任せではなく、使う分は自分達で育てて使う。というのがこれからの地下水利用のあり方と考えます。

適正利用 { [自然環境] 使える分を見極めて使う。
[育水] 使う分を自分たちで育てて使う。

4. 地球温暖化に伴う地下水環境への新たな課題

(1) 海面上昇とその地下水環境への影響

温暖化による海面上昇は、海水の熱膨張と山岳氷河の融解が主因であり、極域の氷床の融解の寄与は小さいとされていましたが⁴⁾。しかし最近の研究では、グリーンランド氷床と西部南極氷床の融解が急速に進んでいることが明らかにされてきました⁵⁾。

この事実はモデル計算で予想されていたものに先行するもので、温暖化による地球の環境変化が、深刻な次の段階に突入した可能性が考えられます。グリーンランドの氷床だけでも地球全体の約9%に相当する雪水量が存在していて、この融解だけでも今後数百年間で全世界の海面を2~3m上昇させると考えられています。日本の地下水環境を考えた場合、このような海面上昇は、沿岸地域の地下水の塩水化や、上昇した地下水の浮力による構造物の浮き上がりといった問題を引き起こす可能性があります。

(2) 降雨の不安定化・降雪量の減少による利用可能な地表水の減少

日本のようなモンスーンの影響を強く受ける地域では、温暖化によって極端な渇水や集中豪雨が増加することが予想されています⁶⁾。また、ヒートアイランド現象によって都市型の集中豪雨が増えていることも明らかにされています⁷⁾。こういった降雨の不安定化によって、河川流量の増減幅も大きくなり、実際に利用が可能な表流量(河川水量等)は減少する可能性が考えられます。

また、降雪期の温度が雨と雪の境界温度に近い日本の場合、温暖化による気温の上昇(日本では過去100年で1.1℃上昇⁸⁾)により、降雪量が大幅に減少することが予想されています⁹⁾。この傾向が更に強まると、山地からの雪解け水によって潤っていた地域では、春から初夏にかけての河川の水量が顕著に減少すると考えられます。

表-1 全国のゼロメートル地帯(環境省資料, 2000)

No.	地域	面積(k m ²)	全国比(%)
1	濃尾平野	395	83
2	筑後・佐賀平野	253	
3	新潟平野	208	
4	関東平野	136	
5	大阪平野	66	5.5
6	岡崎平野	57	4.8
7	豊橋平野	27	2.3
8	高知平野	10	0.8
9	九十九里平野	8	0.7
-	その他地区	30	2.5
	全国	1,190 k m ²	100%

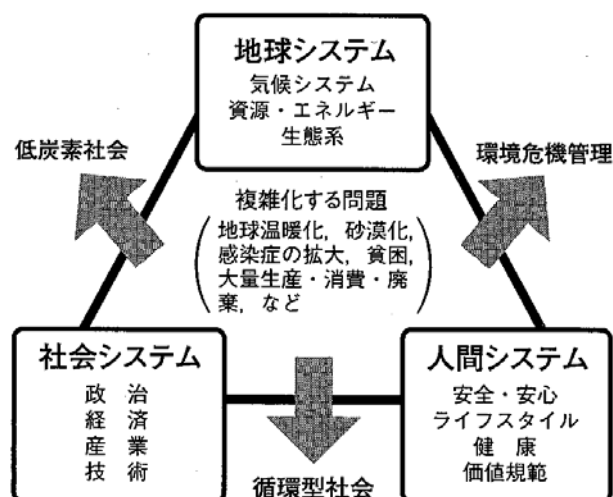


図-2 サステナビリティ学が取り上げる3つのシステムの相互作用と解決の方向³⁾

(3) 仮想水の枯渇

仮想水の輸入という考え方があります⁹⁾。食料の輸入は原産国の水を間接的に輸入しているという考え方です。食料自給率が4割を切る日本は仮想水の輸入大国ということになります。もともと湿潤な気候である日本周辺は、温暖化が進んでも当面は顕著な渇水の心配はありませんが、アメリカや中国などの仮想水の輸出国(輸入相手国)では深刻な水不足が予想されています。そうなるのであれば当然のように食卓に上がっていた食べ物の入手に困難をきたす恐れがあります。温暖化による水問題は、われわれの食に直結する深刻な問題なのです。このように、地下水自体の性状とそれを取り巻く環境は将来大きく変化し、都市住民に対する地下水の位置付けが将来は更に重要となると考えられます。従って、適切な管理に基づいた地下水の利活用が今まで以上に必要と考えています。

5. 地下水の公的管理の現状

それでは、地下水の利用に対してどのような管理や規制が行われているのでしょうか。飲料水の多くを地下水に頼り、地下水盆の流域が他国とリンクすることが多い等の背景から、地下水を包括的に扱った法律が海外には多くあります。一方、日本にはそのような包括的な法律は無く、工業用水法(1956年制定)、建築物用地下水の採取の規制に関する法律(同1962年。通称「ビル用水法」)、公害対策基本法(同1967年)、水質汚濁防止法(同1970年)、環境基準法(同1993年)といった、地下水の問題をそれぞれ個別に扱う法律が整備されているに過ぎません。

また、地下水の利用に関係する条例や要綱は各自治体で制定されており、その数は全国で300を超えます¹⁰⁾。これらの条例をその目的や規制対象で整理すると、水溶性天然ガス採取に関連するもの(1960年代に制定)、地盤沈下対策に関連した公害防止条例など(多くは1970年代に制定)、環境や水資源、水質維持に関連したもの(同1980代から現在)に大別されます。これらは、井戸の吐出し口断面積、時間あたり揚水量、揚水対象深度等について助言、指導、勧告、および命令を行うもので、井戸掘削や揚水機、濾過装置等の技術が向上した現代においては、規制に触れない要件での地下水利用が可能な場合も見られ、課題となっています。一方、法や条例とは別に、地下水利用に関する協議会(第7章参照)が青森県から熊本県までに35件が設けられ、地下水利用の自主規制が実施されています¹¹⁾。

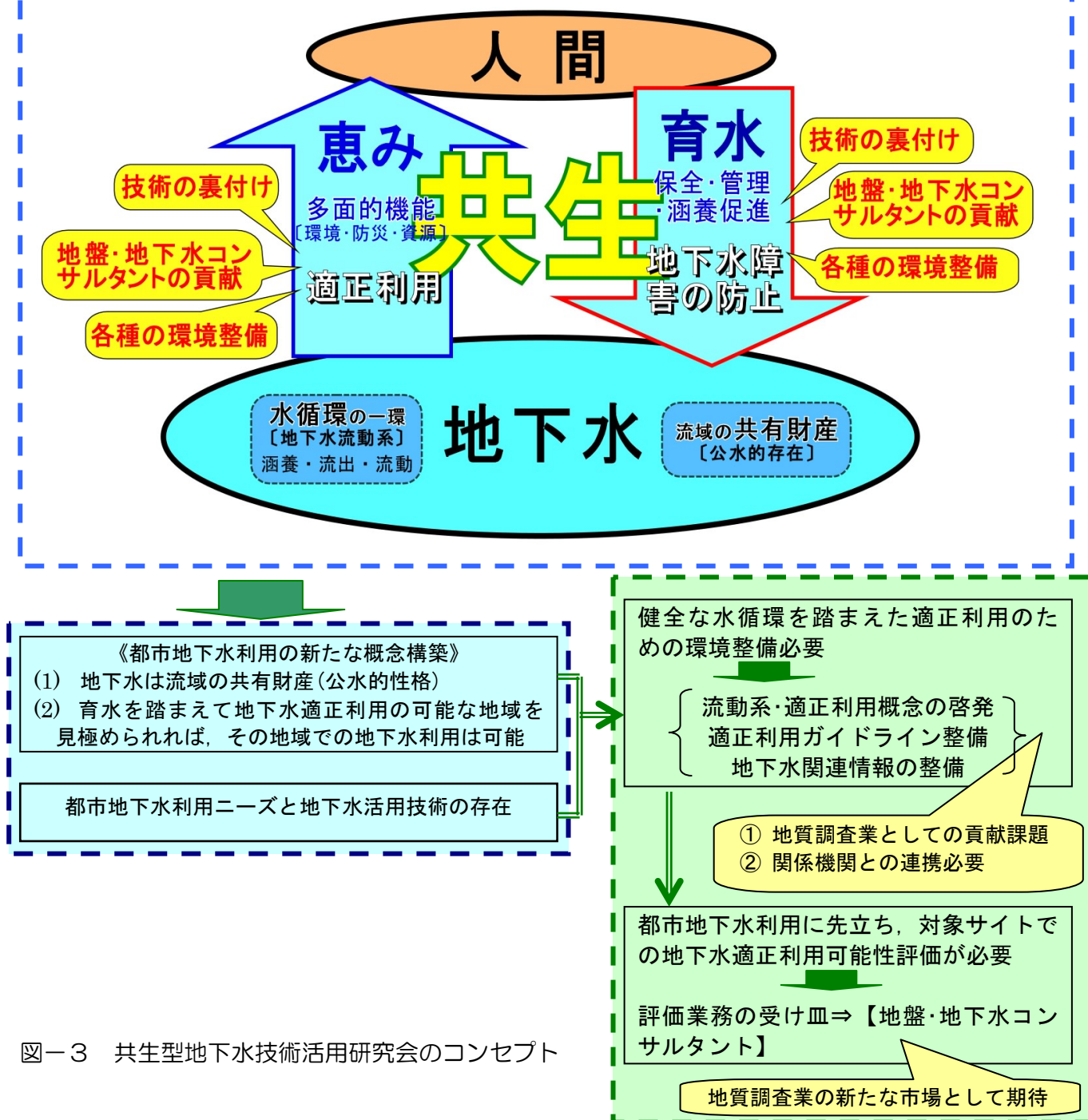
6. 社会環境の変化、環境意識の高揚を踏まえた基本的考え方の提案・推進

近年、環境経営⇒サステナビリティ(Sustainability)⇒社会的責任経営 CSR(Corporate Social Responsibility)と企業意識も大きく変化してきており、共生を踏まえた地下水活用の推進も実践可能になってきたものと認識し、そのための環境整備が必要と考え、ここに都市における地下水利用の基本的考え方を小冊子にまとめ、更なる環境整備に貢献したいと考えています。以下にこの環境整備に向けた、当研究会の基本的考え方の骨子を示します。

- (1) 『地下水は誰のものか?』という命題に対して、①地下水は水循環の一環として存在する流動物である、②地下水流動系を踏まえた地下水の流域全体での保全・管理によって地下水の量と質は保たれている。という科学的知見を踏まえると、地下水を取水施設設置箇所の土地所有者の私物(私権)として扱うには無理があり、『地下水は流域構成員皆の共有財産』との認識で、地下水利用は地下水流域全体での地下水保全(育水)を踏まえて考える必要があります。
- (2) 地下水は各種多面的機能〔環境・防災・資源〕を有しており、流域構成員は地下水の恵みを平等に享受できるが、その一方でその多面的機能を維持し健全な水循環を確保する責務を負っている。この多面的機能維持と健全な水循環確保のための一連の保全・管理を当研究会では『育水』と呼ぶこととしました。また、この人間と地下水との間の恵みを享受し育水の責務を果たす関係を『共生』と位置付けました。
- (3) 上記地下水の『恵み』と『育水』は、自然環境と社会環境の地域特性に大きく依存しており、地下水を適正利用する為には、地域特性を的確に評価し、地下水を適正利用できる環境を見極めなければなりません。これらの作業は、地盤・地下水コンサルタントの役割と考えています。
- (4) 上記、地下水の適正利用の内容は、流域の自然環境・社会環境調査ならびに『地下水は流域構成員の共有財産』との前提条件を踏まえ、総合的な評価をしなければなりませんが、その方法は必ずしも確立されていないのが現状です。従って、地下水適正利用方法検討のためのガイドライン〔ここでは、必ずしも技術的マニュアルに特化せず、総論的な基本的考え方の整理を優先することも含め〕策定が必要と考えます。
- (5) その他、①地下水との共生かつ水循環と地下水流動の概念、②地下水適正利用の概念、③現

状の関連技術の動向，④地盤・地下水コンサルタントの役割，等々を社会的に認知してもらうための啓発活動が必要であり，地下水環境保全・地下水利用マップ(データベース)整備を併せて行う必要があると考えています。

基本的考え方



図ー3 共生型地下水技術活用研究会のコンセプト

引用・参考文献：1) 遠藤 毅・川島真一・川合将文：東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史，応用地質，Vol.42，No.2，pp.72～87，2001，2) 柴崎達雄：アーバンポタNo.27，1988.3.，p.27，3) 小宮山宏編：サステナビリティ学への挑戦，岩波書店，p.6，2007.11.，4) IPCC：第三次評価報告書，2001，5) 例えば，Shepherd and Wingham：Science，Vol.315，2007，6) 気象庁：地球温暖化予測情報，2005，7) 例えば，佐藤・高橋：天気，47.，2000，8) 気象庁：異常気象レポート2005，2005，9) 例えば，沖 大幹：地球規模の水循環と世界の水資源，pp.1～3，2007.8，10) 環境省ホームページ：水・土壌・地盤環境の保全 <http://www.env.go.jp/water/> のデータをもとに集計，11) 経済産業省2006-平成18年度地下水利用適正化調査資料

【恵み】地下水の恵みとは

地下水は多様な『機能』を有して、私たちの生活に直接・間接的に『恵み』をもたらしてくれます。また、地下水は様々な形態の『資源』として活用することができます。ただし、地下水は無限に存在するわけではありません。賦存状態や循環機構を十分把握し、適切に活用していくことが重要です。

1. 自然界における地下水の『機能』

地下水の持つ多様な機能は、自然界のバランスの維持に強く寄与しています（図-1 参照）。自然界へのこの地下水の働きとして、「自然環境の安定化機能」や「防災機能」などが考えられます。いくつかの例を挙げてみましょう。

1) 地象・水象の安定化機能

例：雨水の効果的な地下への浸透は、極端な降雨による急激な増水や地表面の侵食を低減させます
⇒ 水害・斜面災害の防止・低減

2) 都市気候の緩和機能

例：地下水によって維持されている植生や土壌水分の存在は、顕在化する地球温暖化や都市のヒートアイランドを緩和させます
⇒ 都市の生活環境の安定化・維持

3) 生物環境の維持機能

例：地下水を介した植生の繁茂は、生態系を支え、CO₂吸収・O₂生産を増進させます
：地下水の海底への湧出は海洋生命を育み良好な魚場を形成しています
⇒ 生態系の形成・安定化

4) 地盤環境の維持・安定化機能

例：地下水の存在は、沿岸地域の地下への海水の浸入を防止しています
：地下水の存在は、地下の急激な化学反応を防止します
⇒ 塩水化防止・地下環境の安定化

5) 地下への物質収容機能

例：地下貯留空間の遮蔽には、地下水は天然のバリアーとして重要な役目を果たします
⇒ 地下空間の確保・安定化

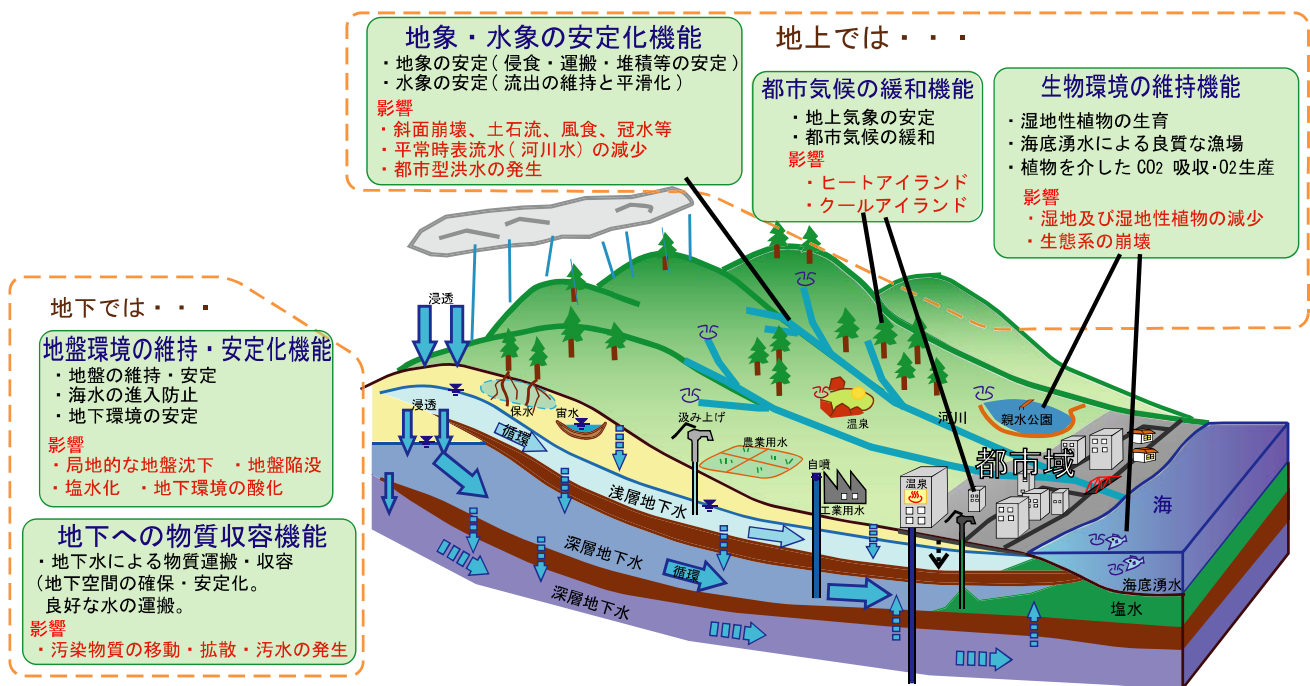


図-1 水循環の中で生じる地下水の様々な機能

2. 地下水の『資源』としての側面

「質」「量」「熱」「圧力」といった地下水の特徴を考えると、地下水は優れた資源として活用できることが考えられます。地下水の特徴を正しく理解して、計画的に利用すれば、地下水は天然の冷蔵庫となり、暖房になり、水タンクになって我々に恵みを与えてくれます。健全な状態にある地下水が持つ、各種の優位性を整理し、資源としての利用例を挙げてみます。

◆地下水のもつ優位性

- ① **質** ⇒きれい、おいしい、洪水でも濁らない、豊富な溶存成分
- ② **量** ⇒安定した水量、変位の少ない水面(地下水位)
- ③ **熱** ⇒夏に冷たく、冬に暖かい安定した水温、地熱・温泉としての熱量
- ④ **圧力** ⇒水頭による圧力(自噴)、地下水位、地盤を支える浮力

◆資源としての利用例(図-2 参照)

- ① 人の命と生活を支える地下水 — 飲料水、生活用水、雑用水
- ② 生活に潤いをもたらす地下水 — 温泉、アメニュティ(親水)
- ③ 加熱・冷却源としての地下水 — 都市や住環境へのヒートポンプ、ヒートアイランド対策、消雪
- ④ 工業を支える地下水 — 工業用水(河川水よりも小さいインフラで導入が可能)
- ⑤ 田畑を潤す地下水 — 農業用水(河川水よりも濁水に強い)
- ⑥ 災害時対策のための地下水 — 防災井戸による断水・濁水対策、洪水時の排水
- ⑦ その他資源への間接影響 — 地下水中のミネラルや恒温性の農産・水産への活用

3. まとめ

地下水がもつ様々な機能は自然環境の安定化や災害の防止・低減といった働きをしています。更に、資源として利活用が可能な特徴(優位性)をもっています。この様に様々な恵みを与えてくれる地下水ですが、その一方で地下水の異常な減少や増加は、生態系破壊、地盤沈下や地すべり災害、土壌汚染物質の拡散といった深刻な問題に繋がる可能性があります(詳しくは地下水障害の章を参照)。

地下水の本来の機能を維持し、さらに持続可能な資源としての恵みを享受するためには、その特徴を正しく理解して、大きな目で地下水利用のありかたを考えていく必要があります。

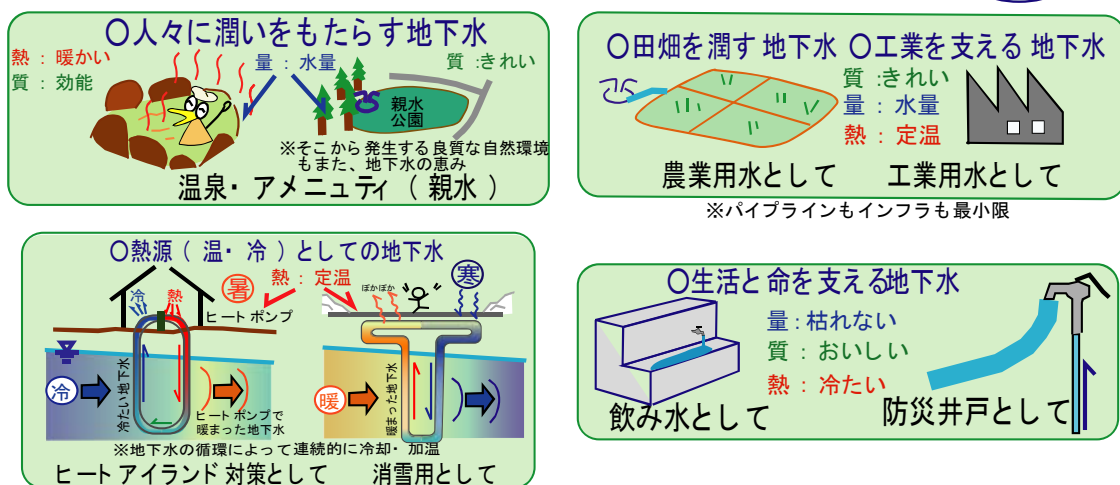
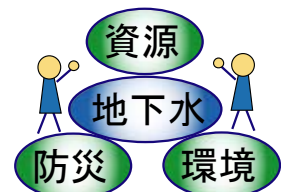


図-2 地下水の利用例

引用・参考文献：本文・図中の各種機能は、新藤静夫が提唱し『環境省総合環境政策局(編)：環境アセスメント技術ガイド「大気・水・土壌・環境負荷」，(社)日本環境アセスメント協会発行 B-5-390p.,p.8, 2006.1.』に収録されたものをもとに作成した

【水循環】地球上で地下水はどのように存在しているか

井戸を掘ると地下水が得られることは知られています。そして一定量を汲み続けても地下水は涸れることなく水資源を提供し続けてくれます。井戸の地下水は何故涸れないのでしょうか？河川と違い地下水は見えません。地下水はどこから、どのように補給されるのでしょうか？地下水の豊富な土地と少ない土地がありますが、何故、そのような地域差ができるのでしょうか？

私たちが利用している地下水は、どこから来てどこへ行くのでしょうか？

地下水は、川や海、雲、雨と同様「水」の存在形態の一つとして、地球規模の大きな循環系から狭いエリアでの小さな循環系の中で存在しています。

それでは、地下水がどのような形態で地中に存在し、移動していくのかを、「循環」に着目して整理してみます。

1. 地下水の存在形態

地下の水は図-1 のように、土粒子の間隙にある土中水、岩盤では割れ目の中に存在する裂隙(れっか)水に分けられます。間隙や割れ目が他と繋がっている場合には移動できますが、その流れは河川水の流れなどと比較すると非常に遅いものです。

その中で周辺に比べて流れやすい部分(比較的幅があり延長も長い)は水みちと呼ばれており、逆に周辺より透水性の悪い盆状の箇所(水が溜まる)は宙水と呼ばれています。

また、存在状態として、間隙が水のみで満たされた飽和状態と、間隙に空気と水が共に存在する不飽和状態とがあります。また、地層構造や帯水状態から被圧帯水層や不圧帯水層といった種別もあります。図-2 にこれらの地下水の様子を模式的に示しました。

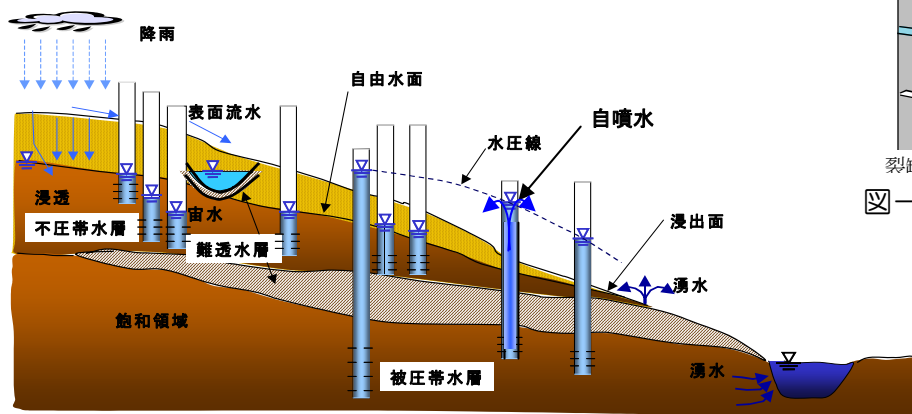
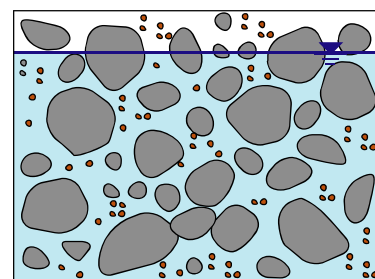
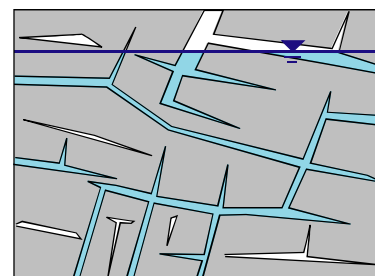


図-2 帯水層などの分類



土中水・・・土粒子の間隙に存在する



裂隙水・・・岩盤中の割れ目に存在する

図-1 土中水と裂隙(れっか)水

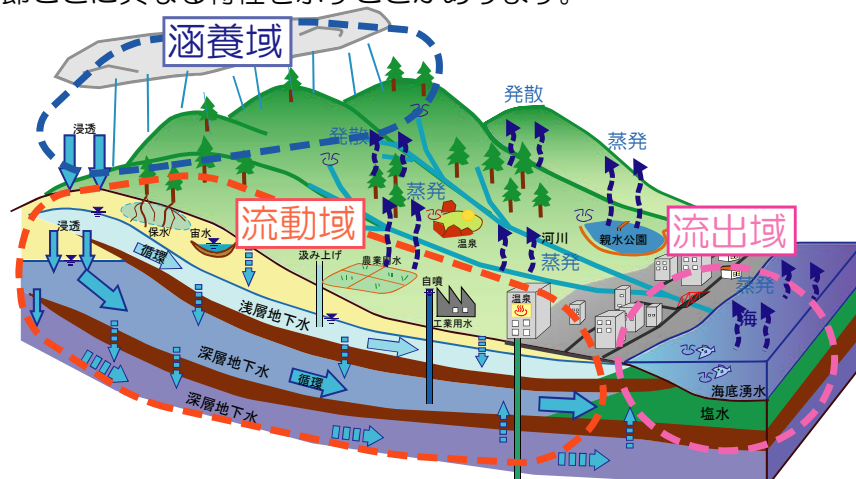
2. 地下水の移動

地下水に限らず流体は「高いところ(上流)から低いところ(下流)」に重力に従って移動します。ただし、これは土地標高の高低だけではなく、ポテンシャル(水圧と高さなどのエネルギーの総和)エネルギーの高低で考える必要があります。また、大気中への蒸発(水面から大気への水分放出)や発散(植物の葉等からの放出)も、水循環の大きな要素になります(海・河川・湖沼や低地部では蒸発散量が多く、逆に、山地や台地部では降雨量が多く、地下浸透量も比較的多い)。

図-3 は、地下水の動きを模式的に示したもので、水は単純に移動しているのではなく、循環しているということを表しています(この図では比較的浅い地層までの水の循環を考えており、温泉のような数百 m 深部の地下水まで考慮する場合には、更に広域(深さ・平面)での評価が必要となります)。

これらの個々の移動は、単純化して「涵養域」、「流動域」、「流出域」といった特性範囲に分類し、このような水系を調査する場合には、個々の水がどのような働きをしているのかを、まず最初

に検討します。また、これらは一つの特性に限定することができず、同時に複数の特性を示したり、時間や季節ごとに異なる特性を示すことがあります。



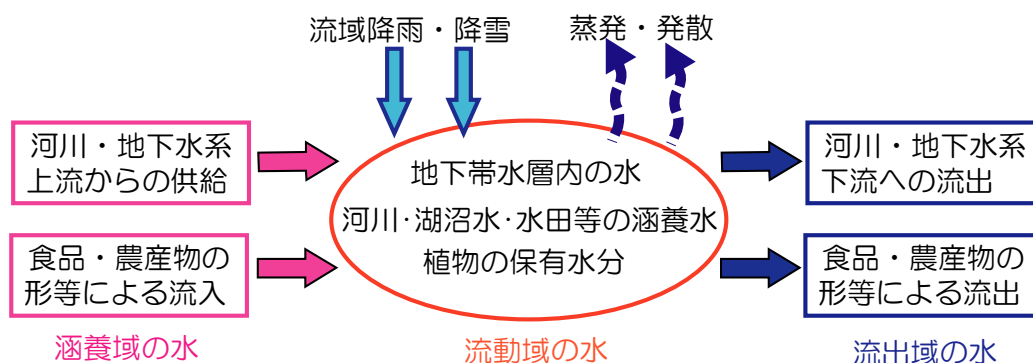
図－3 地下水の流域スケールにおける水循環と地下水流動系の概念図

3. 水収支の概念

先に示した水循環の考え方では、自然界にある水の総量は不変と考えて、そのバランスを考えた水収支という概念を使っています。水収支にはいくつものモデルが提案されていますが、基本的には涵養域、流出域、流動域それぞれの水量の関係を以下のように考えます。

$$\boxed{\text{涵養域の水量 (流系に入る量)}} - \boxed{\text{流出域の水量 (流系から出る量)}} = \boxed{\text{流動域の水量 (流系に残る・移動する量)}}$$

それぞれに該当する項目の一例を以下にあげてみます(図－4)。



図－4 水収支の例

実際の調査では、それぞれ直接に測定することができないことがあります。その場合は一般に水収支の概念を使い、測定できるものから測定できないものを推定します。

4. 都市域での地下水

地下水は大きな水循環の中にあり、循環を構成する流域と地表の行政境とが一致することは極まれなことです。ですから、水循環の中で地下水を利用するためには、地表での様々な境界を超えた広い視点で考えることが重要です。

また、自然界での循環に対し都市域では、人の手による様々な影響が加えられています。

影響例

- ・ 降雨水の浸透が少ない(アスファルトやコンクリート等) ・ 人間活動に伴う汚染物質の混入
- ・ 地中壁やトンネル掘削などによる地下水経路の阻害 ・ 生活のために張り巡らされた上下水道

5. まとめ

この様に地下水は、地域レベルのみならず地球規模の大きな水循環の一形態に過ぎません。これを利用するためには、水の存在形態や循環、水環境への負荷を踏まえた広い視点で考え、利用のありかたを検討していく必要があります。

【共有財産】地下水は誰のものか

地下水利用を考える際、果たして『地下水は誰のものか?』という疑問が湧いてきます。そこで地下水の所有権を考えてみますと、①土地所有権の範囲を規定する法律(民法)の考え方と、②地下水は水循環の一環として地下水流動系をなして存在する科学的知見とで、一見、二律相反する考え方が存在しているように見えます。

しかし、①の法律の規定は、一般的には不動産に対する考え方を示したものとみなすのが自然で、地下水のような流動物にまで適用するのには無理が感じられます。また、②の地下水の存在形態を考えてみますと、明らかに個人が管理できる範囲を超えていますので、この点からも個人所有物とするには無理があることが分かります。

以上から、地下水は、公水として厳密に法で規定はされていないものの、実態として、極めて公水的性格のある『地域(地下水の流域)における共有財産』と考えるのが自然です。従って、地下水利用に当たっては、この『共有財産』の認識の上に立って、地域(流域)における合意形成を踏まえ、適正な利用方法を考える必要があります。

1. 土地所有権の範囲を規定する法律(民法)の考え方

表-1 は個人所有物の要件(民法)と地下水の特徴を対比したものです。これによれば、

- (1) 地下水は流動しており、物体としての唯一性も量の特定もできません。
- (2) 地下水自体の所有権を明確に規定した社会ルールは確立していません。
- (3) 広域を流動している地下水の存在、質、量等を、任意地点の土地所有者が責任をもって管理保全することはできません。

これらを踏まえると、「地下水は個人の所有物」と言い切るのはなかなか難しいということが分かります。

表-1 個人所有物の要件と地下水の特徴との対比表

個人所有物の要件	地下水の特徴
1. 対象とする所有物を唯一の個体としてもしくは量として特定できる個人所有の証明がある。	1. 地下水は、地球もしくは流域における水循環の一環として地下水流動系をなして存在し、特定の土地の地下に存在する地下水は流動の一過程であり、物体としての唯一性も量の特定もできない。
2. 対象とする所有物の個人所有を公認する社会システムが存在する。	2. 流動している地下水自体の所有権を明確に規定した社会ルールは確立していない。
3. 対象とする所有物の存在、質、量等を、所有者が責任をもって管理できる。	3. 地下水は、水循環の一環として地下水流動系をなして存在していることから、特定の土地の所有者個人で、その土地の地下を流動する地下水の存在、質、量等を責任をもって管理保全することはできない。

2. 地下水は水循環の一形態(地下水流動系)として存在するという科学的知見

広域の水循環を考えると、水は図-1 に示すように様々な形態で存在しています。つまり、地下水だけが独立している訳ではなく、

- (1) 地下水を含め、地球上の水は水循環によって基本的には全て繋がっている
- (2) 地下水は、時として水(流体)、氷(固体)、水蒸気(気体)に姿を変える

従って、地下水は『地域(流域)における共有財産』と考えるのが自然であると考えられます。

その背景には当然、地球上もしくは地域(流域)に存在する水というもの人間にとって、地球に

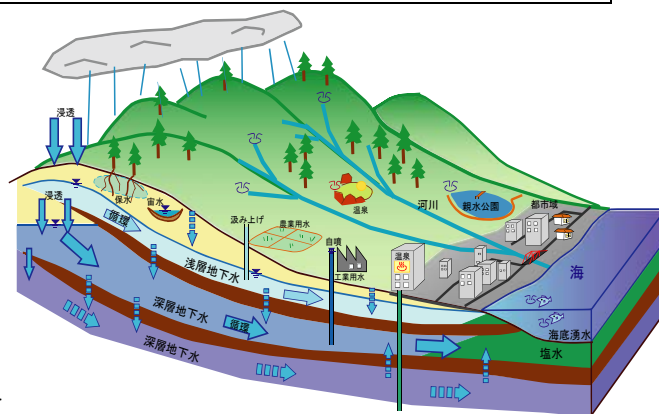
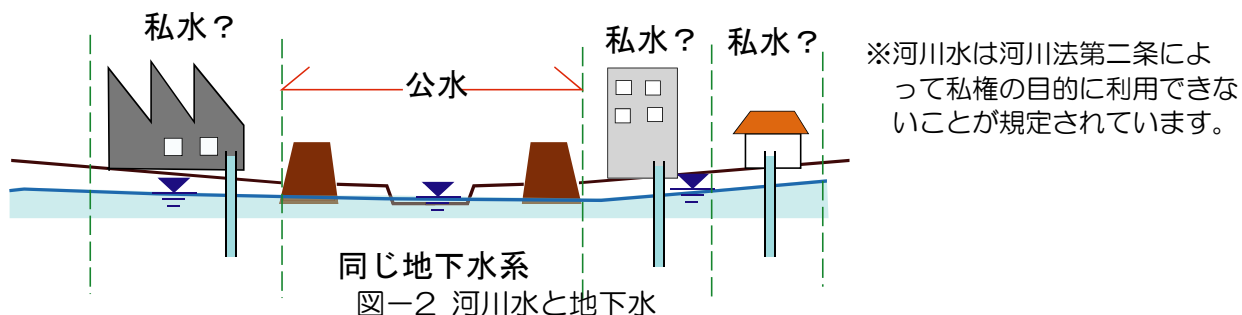


図-1 流域での水循環イメージ

として欠かせない環境要素・資源であることを踏まえ、『地球もしくは地域(流域)における共有財産』という考え方が基本にあります。

なお、河川水については、河川法で私権の目的にできない、即ち事実上の公水であることが規定されています(図-2 参照)。



3. 特定サイトでの水循環

個人の土地に限定して水循環を考えると、図-3に示したように、自分の土地に降った雨を貯めて私目的で利用することができます。ところが、大気中に蒸発するのを追いかけることや、降水が地表流として下流側の敷地に出たものを引き戻すことはできません。

一方、地下に浸透した分が地下に涵養されます。この地下水も敷地直下であれば井戸等によって汲み上げることが可能ですが、敷地外に流出した分を取り戻すことはできません。

このように、自分の土地に降った雨や地下に存在する地下水を、自分の物と主張したとしても、極めて不自然かつ不安定な所有物であることが分かります。

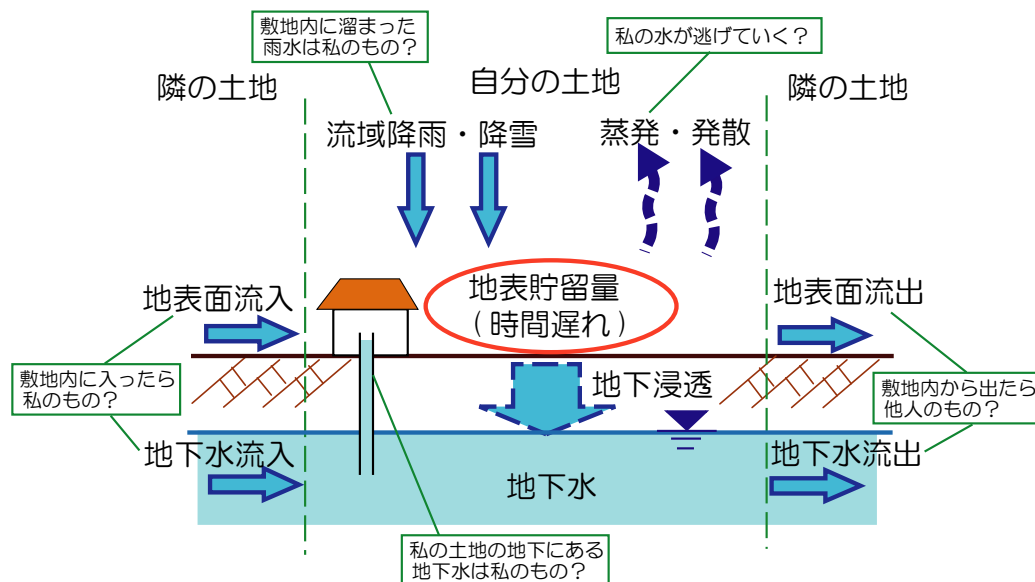


図-3 降雨による地下浸透のイメージ

4. 流域全体での協力による地下水の管理保全

自分の土地の下にある地下水は自分の物と主張した場合、図-3に示したように、地下水は常に上流側から供給され下流側へ流出します。これらの質と量を個人で管理保全することは事実上不可能です。

つまり、流域全体での協力体制が有って初めて管理保全が成立するものであり、個人の所有物と考えるのは困難であると言えます。

ですから、土地所有者は流域全体での管理保全の役割を分担し、適正利用の範囲内で応分の地下水を利用することが適切であると考えられます。

5. まとめ

以上より、地下水は厳密に法律によって規定はされていないものの、実態を考えると、極めて公水的性格のある『地域(流域)における共有財産』と考えるのが自然だと考えられます。

従って、地下水利用に当たっては、この『共有財産』の認識の上に立って、地域(地下水の流域)における合意形成を踏まえ、適正な利用方法を考えていく必要があります。

【地下水障害】都市化に伴う無秩序な開発や地下水利用はどのような障害を引き起こすか

地下水は一般に水温・水質が安定しているため、上水道・農業用水・工業用水・冷房・消雪等を目的に水源が開発され、利用されています。しかし、無秩序な開発や利用に伴う過剰揚水は、地下水位の低下に伴う取水量の減少や水源そのものの枯渇・広域地盤沈下・地下水の塩水化等の地下水障害の原因となっています。

また、直接的な地下水利用ではありませんが、帯水層を横断するように線状の地下構造物（例えば開削における地中連続壁など）が建設された場合は、地下水の流動が阻害されることにより、構造物の上流側では地下水位の上昇に伴う構造物の浮き上がり・漏水・浸水等が、下流側では地下水位低下による地盤沈下や井戸涸れ等の障害が発生する可能性があります。

1. 都市化に伴う無秩序な開発や地下水利用に伴う地下水障害の発生

無秩序な開発や地下水利用によって、地下水が流動する地域の水収支バランスが損なわれ、①地下水位上昇、②地下水位低下、③地下水流路の改変、といった地下水環境の変化(現象)が生じることがあります。このような現象が許容範囲を超えた規模で生じたり、長期に亘って継続すると、下記に示すような地下水障害として社会的な環境問題となります。

2. 各種地下水障害の例

(1) 地盤沈下

図-1に示すように、過剰な地下水揚水が原因となって、地下水位(地下水位)が低下して、地盤沈下が生じることがあります。地盤沈下は都市部(平野部)を中心に、全国的に広がっています。用水2法(工業用水法、ビル用水法)や市町村条例による規制が功を奏して、水位回復が見られ、地盤沈下は沈静化しつつありますが、一度沈下した地盤は元の高さに戻る事はなく、台風や高潮時に水害の影響を受けるなど大きな社会問題に発展しています。

(2) 塩水化

我国ではほとんどの地域に井戸があり、これは海岸付近でも例外ではないのですが、図-2に示すように海岸線沿岸では海水が陸地側の地盤深部に入り込んでいます。

このような地域の地盤では、陸地側の地下水(淡水)が塩水を抑えて、塩水の浸入を防止していると考えられますが、地下水利用によって塩水を抑えていた地下水が低下すると、塩淡水境界面が上昇し、井戸に塩水が流入するに至ります。昨今問題になっている温暖化による海水位の上昇は塩水の地盤内上昇を助長する原因にもなります。一旦、塩水浸入を経験した地盤の土粒子には塩分が取り込まれ、塩水が後退しても永い期間に亘って陸地側の地盤中に塩分が残存し、地下水水質に悪影響を与える事になります。

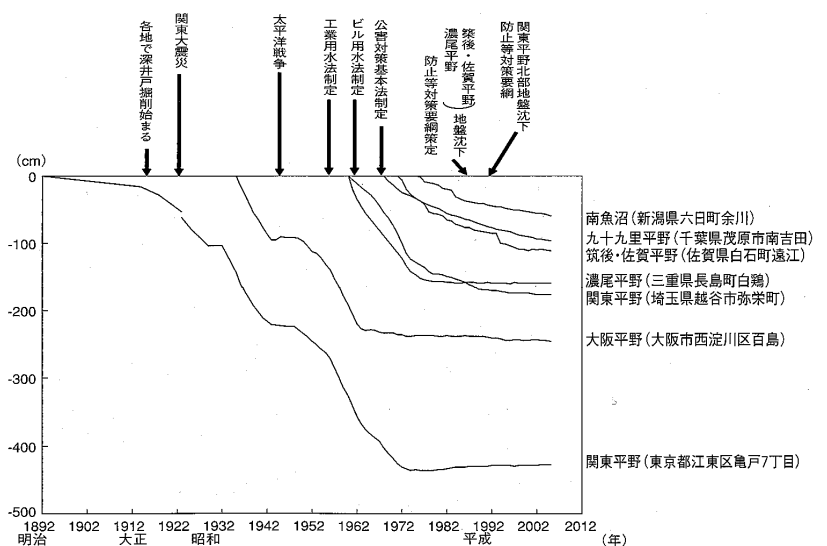


図-1 代表的地域の地盤沈下の経年変化¹⁾

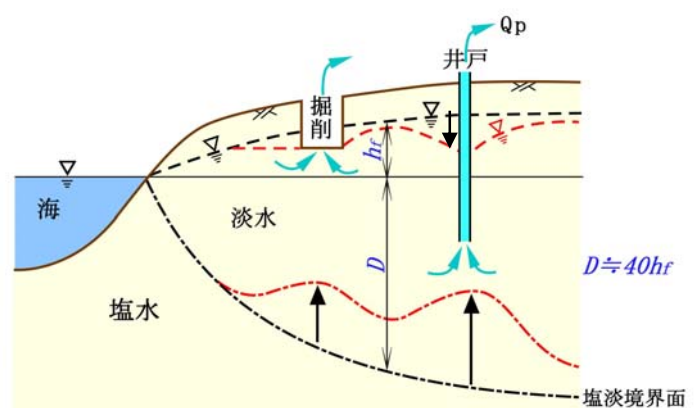


図-2 地下水位低下と塩水の上昇概念図²⁾

(3) 植物への影響

土中水分は植物の生育に大きく貢献しています。また、日本各地にはたくさんの湧水があります。地下水位の低下は、植生に悪影響を与え、湧水を涸渇させることもあり、我々が自然環境の変化を具体的に感じる影響となります。さらに植物は地下水位が高すぎても根腐れによって枯れてしまうことがありますので注意が必要です。

(4) 漏水や浮き上がり

私たちの周りには地下街やトンネルといった地下構造物がたくさんあります。こういった構造物を作った時には地下水位は低いところにあっても、最近の地下水採取規制などによって、図-3に示すように地下水位が上昇(回復)しているケースが少なくありません。このように地下構造物が地下水中に存在する状態では、構造物内への漏水(作った時には漏水なんて考えていなかった)が増え排水設備やポンプ運転が恒常的に必要になったり、構造物自体が浮き上がる懸念があり錘を入れて重量を増加したりしなければなりません。

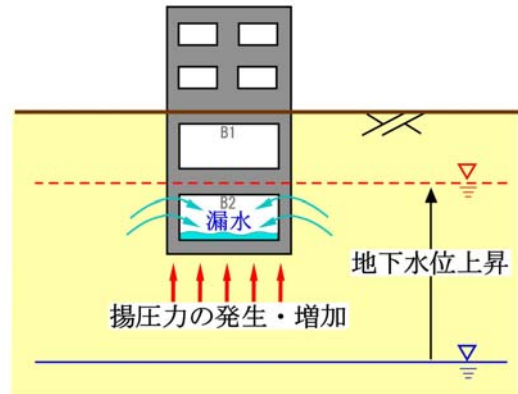


図-3 地下室への漏水と構造物の浮き上がり

(5) 井戸涸れ

工業用水などは比較的深い(数十～数百 m)地盤から地下水を汲んでいます。家庭用や農業用では数 m 深さの浅井戸が多く、数mの地下水位低下が生じるとこのような井戸内には地下水が見られなくなり、井戸涸れとなってしまいます。

(6) 液状化危険度増大

液状化は地震によって引き起こされる現象ですが、その発生には地下水の存在が大きく関与しています。これは、液状化は地下水で飽和した地盤において生じやすいのですが、地下水位が高くなるとこの状況が促進(リスクが増大)され、地震時には液状化が起りやすくなります。

(7) 凍上

寒冷地では地表面付近の土中水が凍結し、さらに下部の地下水を吸い上げさらに凍結範囲を進展させる事があります。土中水が凍ると地盤体積が増加し、地表面が浮き上がります。しかし、温度が上がると融解し地表面の沈下や泥土化するなどの影響がみられます。

(8) 地下水流動障害

地下に構造物ができたり、地下工事をするために遮水壁を作ったりすると、図-4のように地下水の流れを遮断したり流れる経路を変えてしまったりすることがあります。流れを止めてしまうと、地下水の揚水や注水はしていなくても、上流側では地下水位が上昇し、下流側では地下水位低下が生じたりします。また、遮水構造物によって自然の地下水流路が変わると、地下水水質が変化し、醸造業など特定の地下水水質に依存していた産業に影響を与える事になります。

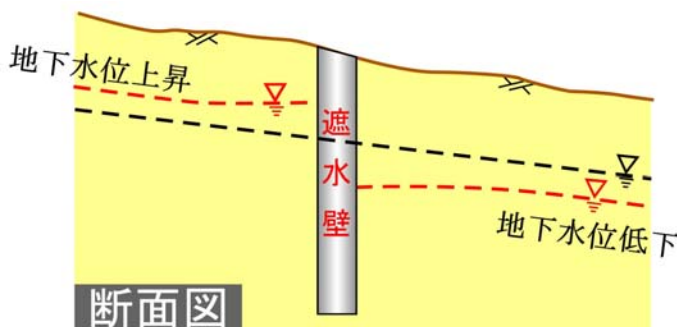


図-4.a 遮水壁による水位変動

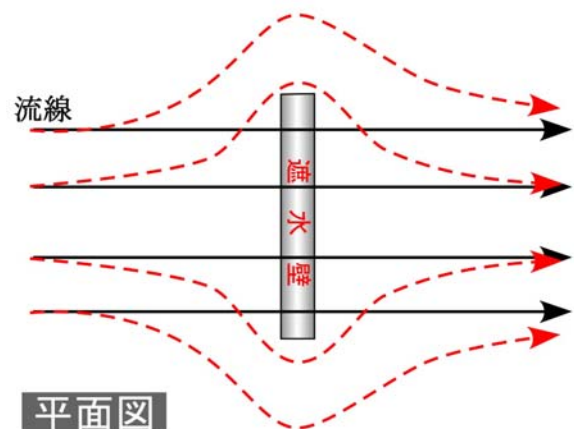


図-4.b 遮水壁による地下水流動障害

【適正利用】地下水の適正利用とは

地下水は、「育水」と水収支バランスを管理して利用する事で、健全な水循環を維持しながら有効に地下水を利用することが可能と考えられています。これから、災害時の緊急用水やヒートアイランド対策等でもますます地下水利用の重要性は高まることが予想されます。私たちは子孫に負の財産を残さないためにも、早急に適正な地下水利用を実施していく必要があります。

1. 適正利用の概念

地下水の「適正利用」とは、図－1に示すように地下水盆（流域）を大きな“貯水槽”と見立てた場合、降水などによる涵養量と、海への流出量と汲み上げによる地下水利用量の合計との差（貯水量）が許容範囲内での利用をいいます。すなわち、一つの地下水盆において、地下水の流入・流出の収支が許容範囲内に保たれた状態で地下水を利用することを意味します。言い換えれば、涵養などの地下水保全（育水）を図りながら、地下水障害や地下水資源の枯渇を生じさせない範囲で、地下水が利用されている状態を指します。

2. 適正な地下水利用量とは

図－2は、地下水の適正利用量と利用量から見た地下水の保全と利用の関係を示した図です。ここで、適正利用量とは、ある地下水盆（流域）において、地下水障害などの環境影響を生じさせずに、かつその流域で合意された利用可能な地下水の量と定義できます。図に示すように、利用ニーズが拡大し、利用量が適正利用量を上回る場合には地下水障害や地下水資源の枯渇が懸念されます。したがって、利用量が適正利用量を超えない範囲内で利用することが必要です。

ここで、適正利用量に対して利用量がどの程度まで許容されるかは、地下水盆（地域）毎に自然条件（地形・地質、気候など）や社会・経済条件（歴史・文化、土地利用、産業、法制度など）に応じて異なります。したがって、地下水を有効にかつ適正に利用するためには、地域特性を踏まえ、かつ流域での合意形成を踏まえた保全・管理が必要です。

3. 適正利用のための手法は

地下水の適正利用量の決定には、その地域での地下水に関する様々な情報収集が必要です。地下水がどのように（どの程度）存在し、どのように（どの程度）使われているか、また、地下水利用によってどのような障害が発生しているか、などを把握することが大切です。

次に、情報を踏まえて、どのように地下水を利用し、また保全・管理していくか、具体的目標（地下水管理目標）や数値指標（地下水管理指標）を設定する必要があります。この目標は、保全面では、「地盤沈下の防止」や「生態系の保全」であり、利用面では「河川の水質改善」や「ヒートアイランド緩和」が該当します。各目標の数値指標は、例えば地盤沈下の場合、数値指標＝地盤沈下量（地盤高さ）が該当します。実際には、地盤沈下が発生する前に、地盤沈下に密接に関係のある地下水位を管理することが必要です。この場合の地下水管理指標が「地下水位」となります。

一方、水収支バランスから見れば、適正利用量を見極める指標として涵養量と地下水利用量を測ればいいのですが、現実的には困難です。特に、届出不要の井戸の実態数が不明など、地下水利用量を正確に把握することは難しいです。これらの指標に替わってバランスを評価する管理指標が「地下水位」です。帯水層毎の地下水位の管理基準値を決め、現状水位が常に基準値を満たせば、涵養量が保たれ、適正な地下水利用が行われていることとなります。

このようなことから、図－3に示すように地下水位の変動を常にモニタリングするとともに、流域の地下水涵養を促進し、地下水の収支バランスが乱れていないかをチェックするといった取り組みが必要です。さらには、上述の点を考慮した地下水の保全・利用のための具体的な枠組み（ガイドライン）を作り、継続的に運用・管理していくことが大切です。

4. まとめ

地下水はすでに工場、農業、ビル、個人などで利用されていますが、適正利用量を定める際には、場合によっては地下水の利用制限を利用者に求めることがあります。自分たちの都合や過去の利用実績通りには行かない可能性があります。このように今後は、過去と同じように使用できなくなることを十分認識した上で、産学官および地域住民で知恵を出し合い、最適な目標・指標を設定する必要があります。

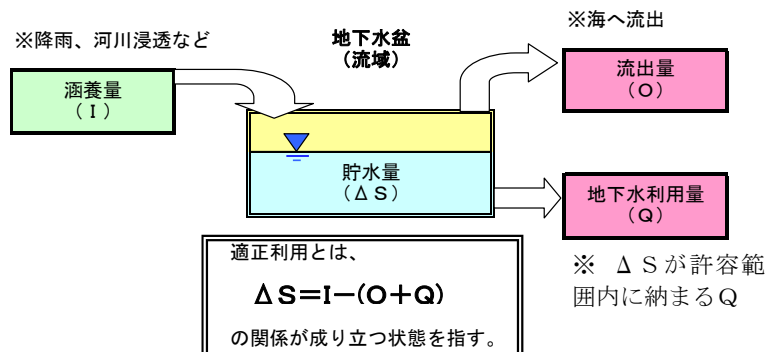


図-1 地下水の適正利用概念

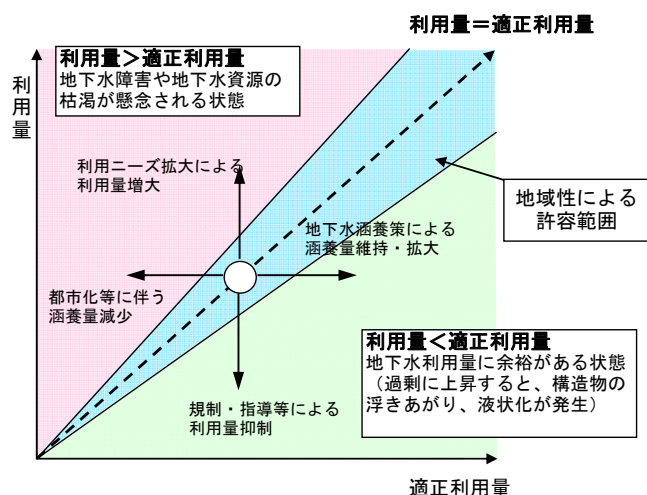


図-2 適正利用と利用量の関係¹⁾

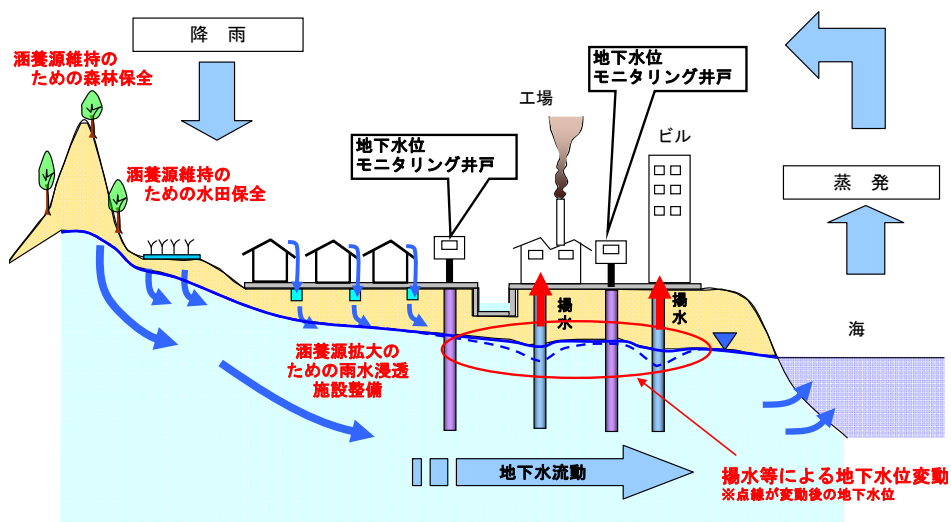


図-3 地下水の保全とモニタリング

引用・参考文献：1) 今後の地下水利用のあり方に関する懇談会編『健全な地下水の保全・利用に向けて』報告書，国土交通省土地・水資源局水資源部，H19.3.の図3-1-2を加工

【育水】育水によって可能となる地下水と人間との共生

健全な地下水環境を維持するには、地下水の量や質などの管理だけでなく、積極的に地下水の涵養を促進することが必要です。そのためには、水循環の様々な場面において、行政や企業や個人のレベルにおいて“地下水を育む”活動と意識の共有が必要です。これは、社会経済だけでなく文化や信仰の多くも“地下水に育まれ”，支えられている我々の責任でもあります。

1. 育水とは？

育水とは、地下水の恩恵を享受している人間が、地下水の保全や管理だけでなく、地下水の涵養について積極的に関与し促進させるものとして、ここでは考えます。この**育水**は、地下水が我々の生活を支えているとともに、我々の独自の文化を育んできた重要な要素であるという事実を十分に踏まえたものでなければなりません。

地下水と人間がこれからも共生して行くために必要な包括的な概念としての**育水**について、「地下水と暮らす」、「地下水を守る」、「地下水を養う」、「地下水を磨く」の4つの視点から眺めます。

2. 地下水と暮らす -地下水は国土を潤し、文化・信仰の源として暮らしを支える-

(1) 我々の国土を潤す地下水

「豊葦原の瑞穂の国」、「山紫水明」といった言葉は、わが国が清廉で豊かな水によって潤っていることを容易に連想させます。全国には多くの名水が存在しますが、環境省(当時の環境庁)が選定した名水百選のうちの8割は湧水もしくは地下水が対象となっています。これは、清廉で豊かな水環境が地下水によってもたらされていて、しかも守られるべき存在であることを意味しています。また、**自然環境の安定化や防災効果**といった地下水のもつ様々な機能と、資源としての地下水の多様な働きは我々に恵みを与えてくれています(詳しくは「地下水の恵みとは」(7～8 ページ)参照)。

(2) 地下水と密着した日本の文化や生活

稲作を中心としてきた日本では、水源となる山や森と同様に、湧水に対する関心と信仰心は強く、湧水を手厚く守り奉った水神様や竜神・雷神信仰などが各地に存在します。また、豊富な水の負の側面としての水害などへの畏怖心とともに、水を汚さず無駄なく大事に使う意識が暮らしと文化の中に根付いてきました。さらに食の文化の面においても、日本の地質と地形が鍵となってもたらされる軟水は、日本独自の料理を創造させた一要因として考えることができます。

3. 地下水を守る -流動機構の実態を踏まえた監視と適切な規制と施策-

近年では、離農や都市化、さらには地域コミュニティの希薄化によって、これまでのような育水が困難になりつつあります。そのような中で、関係省庁や自治体では、地下水の水質、水位や汲み上げ量、地盤沈下量などを監視しながら、揚水量・取水量・水質などの規制を行っています。また、実態把握や各種ガイドラインの策定、地下水利用区分の変更、用途別水利用の検討、地下水盆の管理などの新たな施策が検討されています。

一方、市民やNPOでは地下水の保護活動を通じて、水文学的知識の普及と啓発が行われています。また、地盤コンサルタント等の企業は、水文地質図や三次元水文解析モデルの作成、地下水需給の実態を踏まえた利水計画や管理の実務を担うことが求められています。さらに、プラント会社等は、地下水だけでなく雨水・河川・湖沼水の汚染浄化の実務と技術開発を担うことが求められています。

ここでは、官民一体の対策事例として、秦野市における取組みを紹介します。

秦野盆地湧水群の名水復活(神奈川県)¹⁾

秦野市の水道事業は湧水を水源として明治 23 年に始まり、現在も約 7 割を地下水で占めている。昭和 40 年代、豊富な地下水を理由に工場が進出したが、平成元年に名水「弘法の清水」が汚染されていることが判明した。市はいち早く条例を整備して、関係事業者の協力を得ながら、官民一体の活動を進めるとともに、市独自の「地下水の人工透析手法による浄化装置」の導入効果により環境基準を下回る水質改善を達成するまでに至り、平成 16 年元日に名水復活を宣言した。



4. 地下水を養う -循環を意識した地下水の涵養-

(1) 涵養域での地下水保全

近年の山林の荒廃とそれに伴う地下水涵養機能の低下に対する行政の取り組みとして、森林法に基づく水源かん養保安林の指定や、**水源税**や**森林環境税**といった涵養地域の保全や財源の確保が行われています（例：かながわ水源環境保全・再生施策大綱（2005 年策定））。

一方、民間でもさまざまな水源林の保全活動が啓発的側面も含めて行われています（例：道志水源林ボランティア）。ソニーセミコンダクタ九州(株)による「地下水涵養事業 ソニー協力田」等は企業や NGO が取り組んでいる先進的事例です。

ソニー協力田(熊本県菊陽町)²⁾

熊本市とその周辺の飲み水をまかなう地下水を工業用水として年間 150 万トン以上使用する企業[ソニーセミコンダクタ九州(株)熊本テクノロジーセンター（熊本テック）]が、環境 NGO を仲立ちとして農家・農協等と協力し、重要な涵養源であった休耕田に河川水を張ることにより、浸透促進を図るもので、農家に協力金を企業が支払っている。専門家の調査では、2006 年度には 191 万トンの地下水補充効果があったとされている。2007 年には第 4 回朝日企業市民賞を受賞した。

(2) 涵養域以外における取り組み

涵養域以外では、工事現場における地下水低下工法の抑制や復土工法の採用、土地利用変更の抑制・代替涵養機能の確保、都市の調整池、透水性舗装の採用、融雪水の涵養などの取り組みが企業を中心として具体的に進行しています。また、都市における個人レベルの地下水涵養として雨水浸透枡の設置（補助制度あり）が挙げられます。これらの取り組みは、水田面積の減少等の都市化による地下水涵養機能の低下に対して効果が期待されます。

5. 地下水を磨く -地下水の価値を高め、市民の地下水への関心を高める-

兵庫県の灘五郷の銘酒を生む「宮水」は、六甲山地の地質と地形によって磨かれた地下水を源としています。また、名水・天然水・深層水等として市販化されているボトルウォーターも地下水が循環することによって磨かれたものです。これらの磨かれた水を維持するためには、自然の涵養と流動機構を保護する必要があります。近年、地下水を利用する会社では、企業の社会的責任（CSR: Corporate Social Responsibility）の「環境への配慮」の一環として、工業用水のリサイクルや地下水の保護、管理・監視といった環境への取り組みを積極的に進める活動と、それを評価する動きが広がっています（環境経営）。

一方、ビジネスだけでなく地下水の持つ機能や恩恵を理解し、育水の理念を市民レベルで共有する取り組みも必要です。名水百選の指定や親水公園などに教育的施設を併設した例や、酒造会社による次世代育成支援のプログラムなど多くの取り組み事例があります。

6. まとめ

地下水の恵みの享受は育水の責務を果たさずしては叶いません。育水は健全な水循環のなかでこそ成り立つものであり、長期的な取り組みと意識の向上が重要となります。そこには、我々の先祖が培ってきた**地下水と人間との共生関係**を基本とした生活や文化が欠かせません。そのためには、現代の科学的な手法を積極的に取り入れることも必要です。

引用・参考文献：1) 環境省日本名水百選ホームページ[<http://mizu.nies.go.jp/meisui/>]より、2) ソニーセミコンダクタ九州(株)・ソニー(株)ホームページ[<http://www.sony-sokyushu.co.jp/index.shtml>], <http://www.sony.co.jp/>より

【技術】地下水に関わる技術の現状と課題

地下水を利用することによる障害を未然に防ぎ、地下水と共生しつつ有効に利用していくためには、地下水を利用しようとする前に、地下水が現在どのような状態にあって、利用することによってどのような状態に変化するのか、この変化が自然環境ならびに社会環境に悪影響を与えないか、等々を知ることが重要です。また、地下水の利用中に生じる状態の変化が適正利用の許容範囲に収まっていることを確認することも必要です。しかもここで言う『地下水の状態』とは①涵養域から流出域までを含んだ広域地下水の流域スケール、②季節変動や経年変動を踏まえた長期的な時間スケール、③各種自然環境変化と社会環境変化を踏まえた合意形成に関する事項、等々を含みます。

これら地下水状況の把握と影響予測には、現代科学の技術水準では予測の不確実性を伴う場合が多々あります。そのことを謙虚に受け止めつつ、現在保有するさまざまな技術・ノウハウを駆使して地下水の利用方法や利用目的に応じて、適切な調査と評価を専門家が行うことが重要です。

1. 地下水調査の流れと地下水関連技術

地下水利用を目的とした調査の流れは、概ね次の4つのプロセスからなっています。それぞれのプロセスの内容と利用される地下水関連技術について説明します。

(1) 地下水（帯水層）がどのように存在しているかを調べる

地形図、地質図や井戸台帳などの地下水に関する**既存資料収集**や、**ボーリング調査技術**や**物理探査技術**などの各種地下水調査技術による現場調査を行って、帯水層の分布を把握します。また、既存井戸の水位や水質の調査結果や各種井戸（水道用、工業用など）における地下水利用状況を調べ、地下水がどのような状態にあるのかを明らかにします。

(2) 地下水がどの程度利用可能かを調べる

ボーリング孔を利用した地下水に関する計測・試験を行い、透水性などの帯水層の水理特性を把握し、十分な汲み上げ量が得られるかを評価します（**揚水試験**）。また、水質などの化学的性質を調べることにより地下水の起源や滞留状況を明らかにします。さらに、気象データ、河川流量などから地下水の涵養量を推定し、対象地域の水収支を評価します。

(3) 地下水を利用した場合の影響程度を予測する（**地下水予測解析**）

(1)、(2)の調査結果をもとに、流域（地下水盆）の水理学的モデル（三次元数値解析モデル）を作成します。この数値解析モデルをコンピュータに入力し、地下水の汲み上げを計算上で再現することで地下水の流れを予測する**地下水シミュレーション**を行います。シミュレーション技術を用いることによって、地下水の流動方向や流量の変化あるいは汲み上げ箇所周辺の地下水位の変化を予測することが可能です。

(4) 適切な地下水流量が維持されているか、周辺への影響が無いかを調べる（**モニタリング**）

地下水の水位や水圧の経時変化を観測し、地下水の状態に異常がないかを**地下水位観測計器**を利用して確認します。地下水の流量が減少すると水圧や水位が低下します。また、地下水の変化に伴って、地盤沈下や構造物の浮き上がりなどが発生します。このように地下水位や地盤の変化をキャッチして、速やかな対策を行うことが重要です。

2. 地下水関連技術の課題

(1) 新しい地下水調査技術の開発

都市部では建築物が林立し、共同溝や地下鉄などの地下構造物が密に存在するため、ボーリング

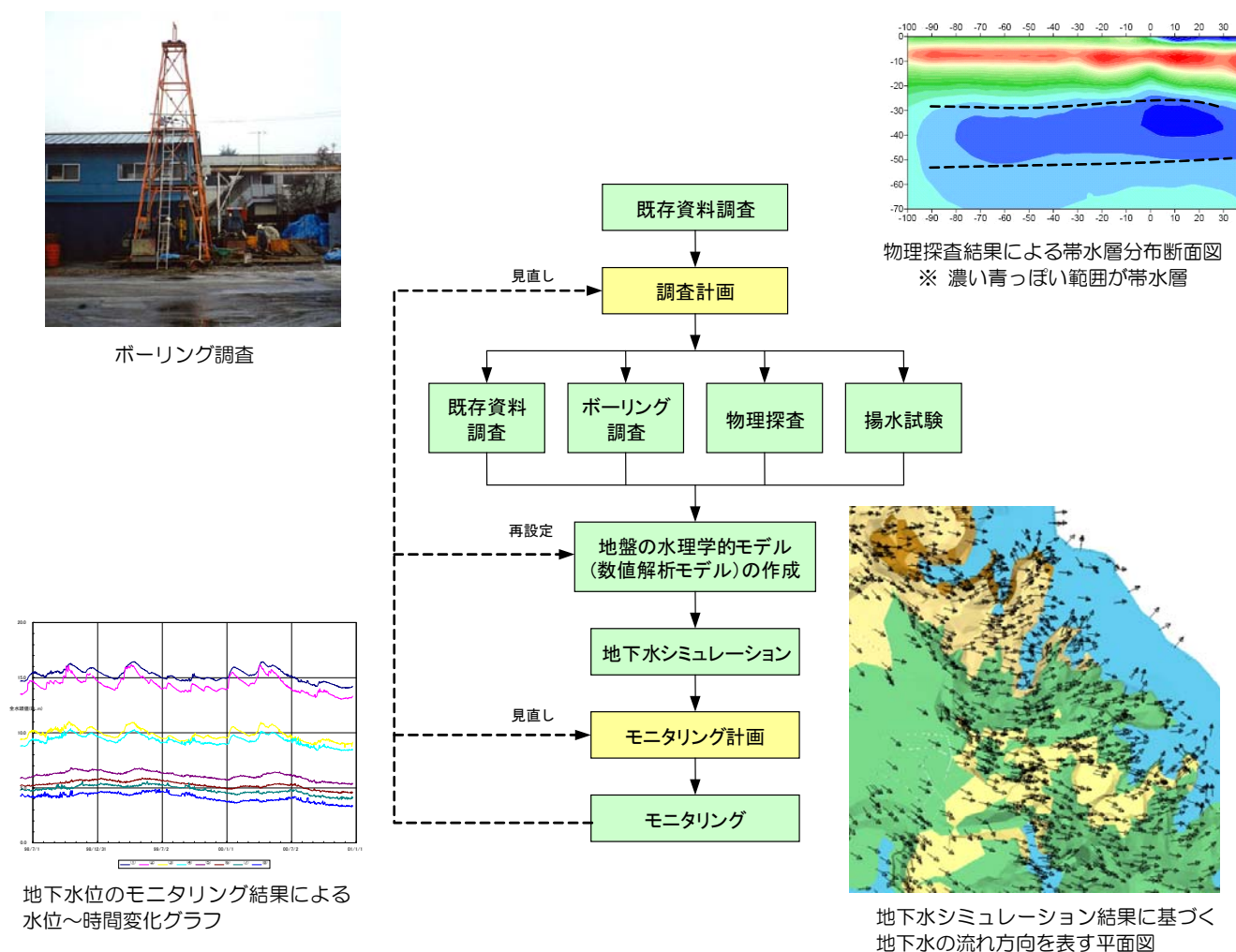
調査や物理探査を行う用地が確保できない、地盤中の電氣的ノイズにより物理探査が適用できないといった問題があります。このため、少ないボーリング調査や物理探査で帯水層を把握する新しい技術が求められます。この新しい技術としては、例えば、音響技術を使ったボーリング孔間の帯水層分布の調査技術が開発されており、効率的な帯水層の把握につながることを期待されます。

(2) 地下水関連データベースの整備

ボーリング調査は、これまで公共工事や井戸開発で行われてきました。しかし、調査を実施した機関や部署が異なり、調査資料の所在や整理方法などがバラバラなのが現状です。また、ボーリング調査結果の他にも、帯水層毎の地下水利用状況や地下水位、水質のモニタリング結果など、地下水に関するデータも同じような取り扱いになっています。このようなことから、地下水関連データは事業主体を横断して収集し、整理手法を統一するとともに、GISなどの最新の情報化技術によりデータベース化・あるいはマップ化して、一元化・共有化することが求められています。

(3) 地下水管理基準値の整備

【適正利用】で述べたように、適正利用量をチェックするためには、地下水に関する管理指標を定め、具体的な管理基準値を決定する必要があります。管理指標については、地下水の保全・利用対象に応じて決定されるべきです。ここで、他の指標に比べてモニタリングしやすく、地盤沈下などの地下水障害にも密接な関係のある「地下水位」が最も適当な管理指標に該当します。ただし、同じ地下水管理基準値でも、例えば、地盤沈下を規制する値、浮き上がりを規制する値、また生態系を維持する水環境保全を規制する値は、それぞれ値が異なってきます。したがって、地下水・地盤状況も踏まえ、地下水の保全・利用の目標別の基準値を整備していく必要があります。



図ー１ 地下水調査の流れと主要な地下水関連技術

【地盤・地下水コンサルタント】地下水と上手に付き合うための^{えいち}叡智の創造

天と地と人によって育まれた地下水は、私たちに様々な恩恵を与えてくれます。この限りある地下水の恵みを今後も享受し、未来の子供たちに受け継ぐためには、流域に暮らす人々は知恵を結集して、育水に取り組んで行く必要があります。地盤・地下水に精通する我々地質調査業は、長年培った技術・ノウハウを駆使し、地下水の保全・管理のための継続的な活動に貢献していきます。

1. 地下水の特徴を知り、共有財産として認識すること

【恵み】で示したように流動する地下水は、自然のバランスを保ち、人々に様々な形で恩恵を与えます。一方で、【障害】で述べたように地下水の無秩序な利用は、地盤沈下などの様々な問題を引き起こし、その改善には莫大な費用と時間を要します。したがって、【共有財産】で説明したように、恩恵と障害を与える地下水の特徴を正しく知って、流域全体の共有財産として扱うことが大切です。また、【育水】で紹介したように、産学官および地域住民がそれぞれの立場で地下水を育んでいくことが今求められます。このような考えを流域全体の人々が理解し、啓蒙と合意形成を図ることも併せて必要です。

2. 地域にあった地下水の保全・利用のあり方を考えること

地下水の状況は、地域ごとの自然条件（地形・地質、気候など）や社会・経済条件（歴史・文化、土地利用、産業、法制度など）に応じて異なります。古くから地下水を保全し、生活や産業の様々な面で利用する地域がある一方で、過去の過剰な地下水揚水に起因した地盤沈下を踏まえ、法制度などで利用を制限している地域もあります。

ここで特に考慮したいのは、地下水が流動する帯水層の分布・規模です。【水循環】で説明したように、帯水層は一つの市町村内にとどまる場合から、複数の県にまたがるような場合など、地域によって異なります。裏を返せば、帯水層の状況が、地域毎の地下水状況に影響を与えている主要因といえます。したがって、帯水層の分布・規模と、地下水を取り巻く現状を踏まえた上で、どのように保全・利用していくかを地域毎に考える必要があります。

3. 資源としてデータを整備し、その量的・質的な実態を把握すること

地下水の保全・利用の検討には、他の資源と同じように量・質を把握することが必要です。しかし、地下水はこれまで適正評価されなかったもので、地域ごとの正確な量・質は明らかではありません。地下水を把握するボーリングなどの地質調査は、公共工事や井戸開発で行われてきました。しかし、調査した機関、部署が異なり、結果の所在がバラバラであるとともに、地下水の資源としての把握のためには質・量ともに乏しいのが実状です。また、帯水層ごとの採水量や地下水位、水質のデータも、地下水の実態把握には必要です。このようなことから、【技術】で述べたように、最新の情報化技術を駆使して地下水に関する基本データの共有化を図り、科学的な見地で地下水を量的・質的に把握することが必要です。

4. 地下水の保全・利用の目標と枠組みを作り、運用・管理すること

地域毎の地下水の保全・利用のあり方、地下水の量的・質的な実態把握と並んで、地下水の保全・利用の目標設定も重要な課題です。目標とは地下水の保全・利用の具体的内容の設定であり、数値指標化する必要があります。この点については、【適正利用】で述べたように水収支バランスを保つため、地下水位の変動が基準値を満たしているかどうかをモニタリングし、涵養量と利用量をチェック、コントロールすることが大切です。そして、このような具体的な管理のための枠組み（ガイドライン）を作り、継続的に運用・管理していくことが重要です。

5. 地下水に関わる技術・ノウハウを利活用し、継続的に取り組んでいくこと

地下水位の管理基準値の決定には、【技術】で述べたように、コンピュータを用いた地下水シミュレーションによって、地下水位変動の予測を行います。また、管理基準値の精度を向上させるためには、地下水位モニタリングによって地下水位の経時的变化を観測し、得られたデータを再度地下水予測解析に反映させることが必要です。ここで、どう地下水予測解析に反映させるかは、解析に携わる技術者が長年培ったノウハウが重要になります。

これらの技術・ノウハウを利活用し、地下水の保全・利用を適切に行うためには、図－1に示すように、地下水予測解析を用いて地下水位の管理基準値を決定し、基準値を踏まえた保全・利用の計画を立案し（Plan）→涵養源整備や地下水位モニタリングを行い（Do）→モニタリング結果や経験則の両面から解析モデルや基準値の妥当性をチェックし（Check）→適宜計画を修正する（Action）、といったプロセス（PDCAサイクル）を継続的に行うことが大変重要です。

6. 地盤・地下水コンサルタント（地質調査業）のこれからの役割

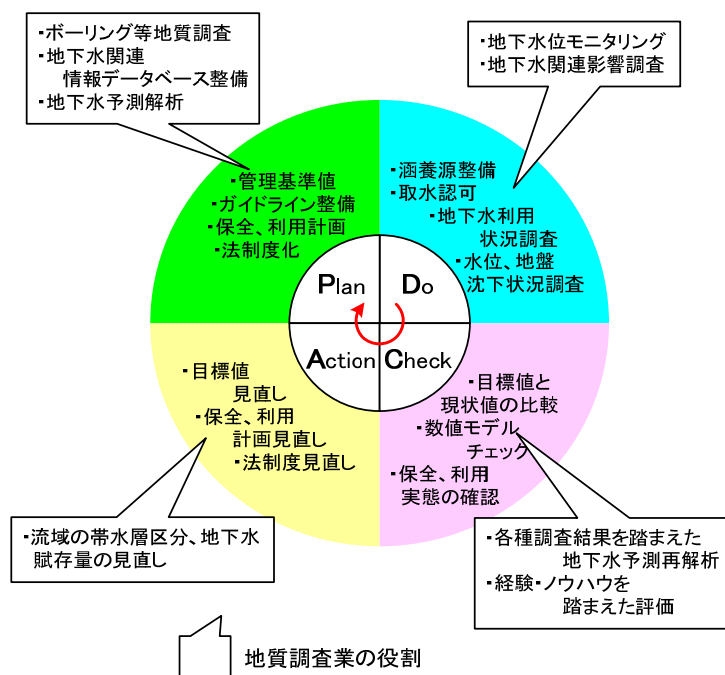
地下水の適正利用量を定めるにあたっては、企業、住民等の間の利害調整が必要となる場面が必ず生じることでしょう。その際には、PDCAサイクルを確実に回していくことが大切であり、地盤・地下水に精通したコンサルタントである地質調査業の果たす役割は大変重要になってきます。

戦後の国土復興事業や高度経済成長のための基盤整備事業を通して、地質調査業はこれまで国内数百万箇所の地質調査を行ってきました。その膨大な地質調査を通して、事業の様々な局面で遭遇する地下水問題に対峙し、問題克服のための知恵を編み出し、技術の研鑽やノウハウの蓄積を行って来ました。長年培った地下水調査、モニタリング、予測解析などの地下水関連技術は地質調査業が誇る技術の一つであり、この技術を糧に地質調査業は地盤・地下水コンサルタントとして活動して来ました。まさに、今後の地下水利用

のためには、我々地質調査業は必要な存在であり、図－1に示すようなPDCAサイクルの各プロセスでの役割を果たす必要があると考えています。

現在、温暖化による地球規模の気候変動が懸念されており、日本を始めとする世界の各都市は、未曾有の水問題に遭遇する可能性も指摘されています¹⁾。このような中で、地下水の重要性は世界的にも益々高まり、地下水関連技術がより重要視されることでしょう。

私たち地質調査業は、地盤・地下水コンサルタントとして、来たる都市の水問題に立ち向かい、持てる技術・ノウハウを駆使して、地下水の保全・利用のための継続的な活動に貢献していきたいと考えています。



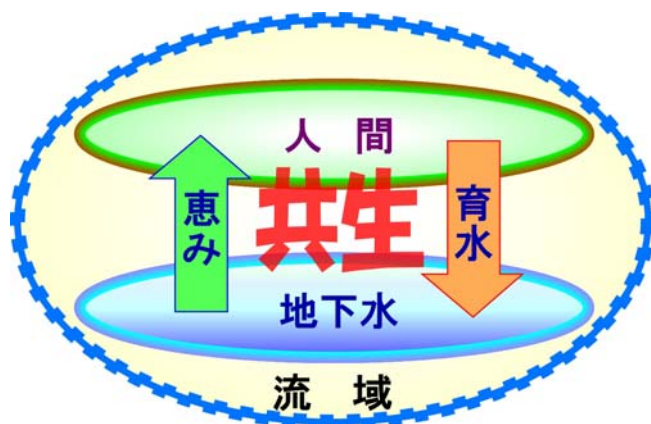
図－1 地下水の保全・利用のためのPDCAサイクルと地質調査業の役割

引用・参考文献：1) 例えば、沖 大幹：地球上の生命を育む水のすばらしさの更なる認識と新たな発見を目指して 水循環予測，文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会報告書，平成 14 年 12 月，22-36, 2002

共生型地下水技術活用研究会

研究会の構成		問合せ先[注]
技術顧問	西垣 誠 教授 〔岡山大学大学院環境学研究科〕	
会員企業	応用地質(株)	機器事業本部 新技術推進部：矢部 満 〒305-0841 茨城県つくば市御幸が丘 43 番地 TEL：029-851-5078(代)
	川崎地質(株)	技術本部 技術企画部：坂上 敏彦 〒108-8337 東京都港区三田 2-11-15 TEL：03-5445-2077
	基礎地盤コンサルタンツ(株)	保全・防災センター：福井 謙三 〒102-8220 東京都千代田区九段北 1-11-5 TEL：03-5276-6768
	サンコーコンサルタント(株)	地盤調査・防災部：渡辺喜代彦 〒126-8522 東京都江東区亀戸 1-8-9 TEL：03-3683-7101
	大成基礎設計(株)	コンサルティング事業部 地盤グループ：進士 喜英 〒113-0022 東京都文京区千駄木 3-43-3 千駄木ビル 3F TEL:03-5832-7195
	(株)ダイヤコンサルタント	地盤・地下水解析センター：菱谷 智幸 〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 TEL:048-654-3129
	中央開発(株)	技術センター 技術開発部：緒方 信一・橋本 智雄 〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5 TEL：03-3208-5252
研究会事務局	(株)エイトコンサルタント	技術本部：木村 隆行 〒700-8617 岡山県岡山市津島京町 3-1-21 TEL:086-252-7591
	(株)地域環境研究所	中村 裕昭・小森 次郎 〒332-0035 埼玉県川口市西青木 3-4-2 TEL：048-259-0645
	(社)全国地質調査業協会連合会	土屋 彰義 〒113-0033 東京都文京区本郷 2-27-18 本郷 BN ビル 2F TEL：03-3818-7411

注：研究会は会員企業各社の経営者と技術者複数で構成するが、ここには問合せ窓口部署と担当者のみを記載した。



当冊子を引用する場合には出典を明示して下さい。

《引用表記例》

西垣 誠監修・共生型地下水技術活用研究会編：都市における地下水利用の基本的考え方，2007

都市における地下水利用の基本的考え方 〔地下水と上手につき合うために〕

初版発行：平成 19 年 12 月 6 日

監 修：西垣 誠

編 集：共生型地下水技術活用研究会

発行機関：(社)全国地質調査業協会連合会 共生型地下水技術活用研究会

〒113-0033 東京都文京区本郷 2-27-18 本郷 BN ビル 2F TEL：03-3818-7411

URL：http://www.zenchiren.or.jp/