

【小特集：水文調査とその最前線】

地下水環境保全に向けた取り組みと調査のポイント

中村 裕昭：共生型地下水技術活用研究会/㈱地域環境研究所

【Key Word】地下水, 育水, 環境調査, 地下水流域, 水収支

1. はじめに

地下水環境保全の基本的枠組みの考え方として『健全な水循環の確保』<sup>1)</sup>の概念が提起されて久しく、この水循環の概念自体は定着したかに見えるが、このフレーズにおける『健全』の意味については、必ずしも汎用的解釈と実務的評価方法は確立していないようにも見える。図-1に流域の水循環のイメージ図を示すが、自然界の水循環と人為的水循環が重なっていることを認識することが重要である。

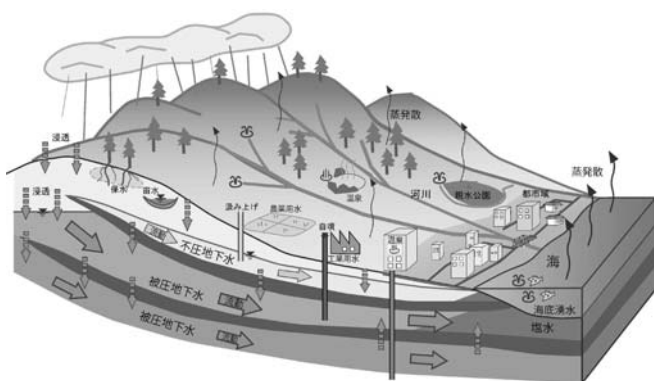


図-1 流域の水循環イメージ図

この水循環における健全性評価については、新藤静夫(千葉大学名誉教授)が提唱し、環境アセスメント技術ガイド<sup>2)</sup>に収録された、表-1に示す水の環境要素としての機能と資源としての効果・役割<sup>2)</sup>の捉え方が、基本となるものと考えられる。要するに、ここに示した機能と資源の項目ごとに持続可能な形で役割を果たし効果を発揮することが『健全』の主旨であり、この健全性を維持することが地下水環境保全の基本的考え方である。

従来、環境アセスメント等における地下水・地盤環境問題は、過剰揚水や過剰排水、地下水流動阻

害、等による大幅な地下水位低下による地盤沈下に代表され、これらについては多くの苦い経験と実績を踏まえて、評価と対策方法は基本的には確立していると考えられる。ところが水循環の視点で地下水の場と挙動を地下水流動系(涵養域, 流動域, 流出域)として捉え、表-1に示した水の機能と資源の側面で考えると、地下水を揚水したり掘削等の直接的な行為を起こさなくても、土地の植生状況を変えたり、地上に施設を構築したりして、土地利用(土地被覆)状況を変えることで、降水の地表保水量や地下浸透量が減り、地下水の恵みとしての環境機能に障害を起し、結果、水循環の健全性が損なわれることが容易に理解できる。従って、人間が地球上で利便性を追求しながら文化的に生存を続ける限り、たとえ故意の環境破壊の意図がなくても、水循環の健全性が悪化傾向にあることを認識することが、地下水環境保全の一步である。

表-1 水の機能と資源の側面<sup>2)</sup>

分類	機能・資源	機能・資源の効果役割
機能的側面	地象・水象	地象の安定(浸食・運搬・堆積等の安定), 水象の安定(流出の維持と平滑化)
	気象緩和機能	地上気象の安定, 都市気候の緩和
	地盤環境維持機能	地盤の維持・安定, 海水侵入の防止, 地下環境の安定
	物質運搬・収容機能	地下水による物質運搬・収容(良好な水の運搬, 汚水物質等の浄化)
資源的側面	生物生息環境維持機能	湖沼・湿地等の形成, 湿地性植物の生育
	多種用水資源	農業用水, 工業用水, 生活用水への利用
	エネルギー資源	冷暖房, 消雪, 氷室, 温泉への利用
アメニティ空間資源	観光地・親水空間, 遺跡・史跡・文化財, 温泉地としての利用	

そこで筆者らの研究会<sup>3)4)</sup>では、地下水と人間の共生の立場から、地下水環境保全の基本的考え方として、従来の『現在の環境に影響与えない範囲での開発や地下水利用』という考え方から、一步踏み込んで、『育水策の導入によって、水の保有する機能と資源の役割に支障が生じない好循環の水環境の創出』を提唱<sup>3)4)5)</sup>している。

本編では、この『育水を踏まえた好循環の水環境の創出』のための調査のポイントを示す。

なお、地下水位とは厳密には不圧帯水層に対して用いる用語で、被圧帯水層の場合は、地下水頭高(ピエゾ水頭高)とか地下水圧と表記すべきだが、本編では便宜的に被圧帯水層に対しても地下水位という用語で包括している。

## 2. 育水を踏まえた地下水環境保全調査のポイント

地下水は流域内で数十年から数千年という極めて長期的スパンの地下水流動系(水循環)のもとに存在する。また、地下水流動特性は自然誘因で常に変動し、人為誘因による変動が更にそれに重なって、全体としての水循環が形成されている。

地下水の容れ物も、その中の地下水の流動特性も、地下水の入口となる降水条件も、地下水流動特性に影響を及ぼす自然誘因の項目も、人為誘因の項目も、地域によって状況が大きく異なることから、地域にあった調査が必要となる。

図-2に一般的な地下水調査・解析の流れを示す。

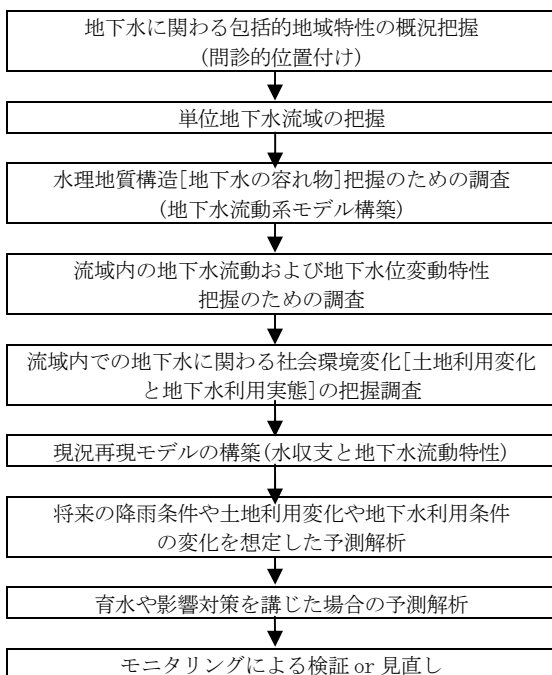


図-2 一般的な地下水調査・解析の流れ

地下水が水循環系の一環として地下水流動系(涵養域、流動域、流出域)のもとに存在することを踏まえ、水の機能と資源の側面を考慮した地下水環境保全調査における特徴的な調査項目を以下に列記する。

- (1) 解析領域(地下水の流域)の設定調査
- (2) 地下水位変動パターン把握調査
- (3) 涵養域調査
- (4) 流動域調査
- (5) 流出域調査
- (6) 水収支検討
- (7) モニタリング

以下、個々に調査のポイントを概説する。

### 2.1 解析領域(地下水の流域)の設定調査

先ず、検討サイトを含む、水循環の閉じた系としてモデル化できる最小単位の地下水の流域(地下水域)の設定が必要である。この流域の概念は基本的には河川の流域〔分水界(分水嶺)で囲まれた集水地形の範囲〕の考え方に順じるが、分水界の扱いが河川流域では地形的分水界(分水嶺)であるのに対して、地下水流域では帯水層基底面の埋没地形に基づく地下水分水界を見極めなければならない。これは周辺一帯の踏査と既往地質資料を駆使しての地質構造解析で求める作業である。

### 2.2 涵養域調査

『涵養域』で起こっている現象を『降水量』『蒸発散量』『地表面流出量』『地下浸透水量』の関係で図-3に示す。これより、地下浸透水量と降水量との関係は下式で表すことができる。

地下浸透水量 = (降水量 - 蒸発散量) × 地下浸透能  
 ここで、地下浸透能 = 1 - 表面流出率  
 また、降水量 - 蒸発散量 = 可能涵養量

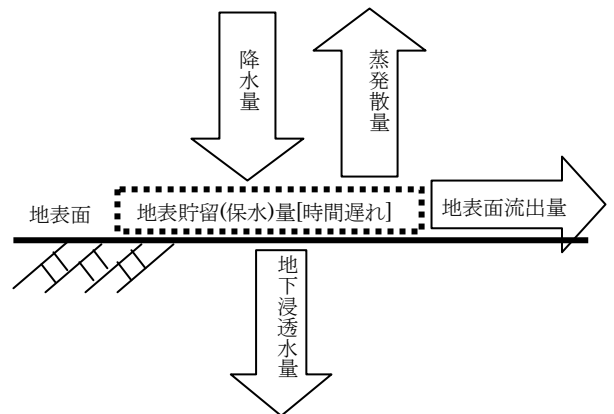


図-3 降水量・蒸発散量・地表面流出量・地下浸透水量の関係概念図

我が国の年間降水量は、800mm/年(網走)～4,360mm/年(屋久島)と地域差が大きく、全国平均で1,700mm/年程度である。一方、年間蒸発散量は、550mm/年(南西諸島)～950mm/年(北海道東縁部)と地域差はあるが、その幅は降水量程ではなく、全国平均で600mm/年程度と見られる。降水量は気象庁の観測データで知ることができるが、蒸発散量の実測は難しく、実務上はゾーンズウェイトの方法等を用いて推定している。

可能涵養量とは、地域ごとの降水量から蒸発散量を差し引いた地上に残る、降水起源の地表水と地下水を併せた水量である。可能涵養量の内、地表流出量の割合が『表面流出率』であり、地下浸透量の割合が『地下浸透能』である。従って『表面流出率+地下浸透能=1』という関係である。

実務的には、表-2に例示するように表面流出率と地下浸透能は地目(土地利用条件)ごとに一定値(一般値)を与えて用いることが多いが、実際の現象としては、降水量が多くなれば、地盤は飽和して、地下浸透はできなくなるはずなので、図-4のような累加雨量と流域保留量(地下浸透量と地表貯留量との和)との関係を使って、降水量の程度に併せて地表流出量と地下浸透量との割合を変化させて、できるだけ実態に沿った解析も試みられている。

表-2 表面流出率の例

土地利用の形態	表面流出率
池沼・水路・ため池	1.00
コンクリートで覆れた土地(法面除く)	0.95
宅地	0.90
道路・鉄道・飛行場	0.90
運動場(排水施設を伴う)	0.80
ゴルフ場	0.50
人工造成植生法面	0.40
山地	0.30
林地、耕地	0.20

注：平成16年国土交通省告示第521号より抜粋、再構成

地下水環境保全調査のポイントは、地目の配置(割合)が経年的に変化することである。過去の経年の土地利用変化を把握することが重要である。但し、過去に遡って年代ごとの土地利用分布図が整備されていることは少ないので、衛星リモートセンシングデータ等から過去の土地利用分布図(土地被覆分布図)を作成する方法もある。衛星リモートセンシングデータは、季節条件等を敏感に

反映するので、経年変化を見る場合には季節を統一するとともに、何らかの方法で解析結果を検証する必要がある。

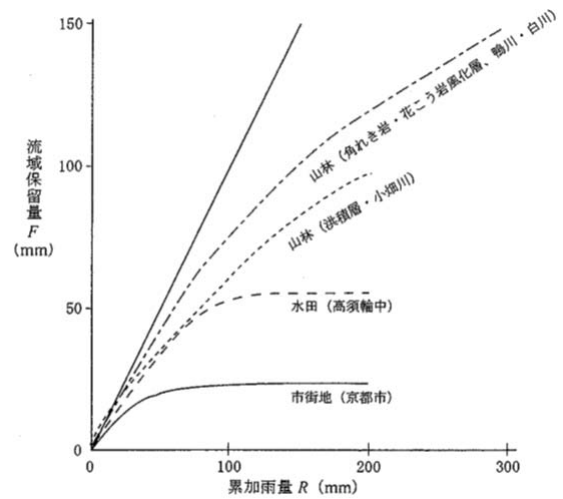


図-4 雨水保留量曲線の例<sup>6)</sup>

### 2.3 流動域調査

流動域調査の基本は、地下水の容れ物(水理地質構造)と地下水の実態把握で、帯水層構造および層毎の透水特性の把握と地下水水位観測である。

地下水水位は、表-3に示すように、日変動等の短期的変動もあれば、季節変動等の年間での変動、更に、渇水年や豊水年といった年ごとの状況を反映した経年変動がある。また、変動要因にも降水や台風といった自然的誘因と地下水利用や水田涵養といった人為的誘因とがある。これらの組み合わせによって、図-5と表-4に示すような変動パターンが考えられる。

表-3 地下水位の各種変動例<sup>7)</sup>

変動パターン		自然的誘因	人為的誘因
短期変動	周期的変動	潮位, 感潮河川	—
	日変動	降雨	生活用水適正揚水
	一時的変動	台風, 低気圧, 高気圧	地下水水位低下工法(数日～数週間規模)
年間変動	季節変動	梅雨, 秋霖	灌漑用揚水, 水田涵養, 冷房用揚水, 融雪用揚水
	一時的変動	降雨	地下水水位低下工法(数ヶ月規模)
長期変動	経年変動	土砂ダム形成, 涵養域荒廃(涵養機能低下), 湖沼消滅, 地球温暖化(海面上昇), 地球寒冷化(海面低下)	地下水過剰揚水, 地下水採取規制効果, 地下構造物設置(流動阻害), 河川構造物設置(堰・ダム)

表-4 地下水位変動パターンと変動誘因の例<sup>8)</sup>

地下水位変動パターン	No.	自然誘因	人為誘因
周期変動	図 a	潮位, 感潮河川, 梅雨・秋霖, 積雪	小規模生活用水適正揚水
一時的低下	図 b	高気圧	灌漑・冷房用水, 地下水位低下工法(短期)
一時的上昇	図 c	降雨, 台風, 洪水, 低気圧	水田涵養
低下後水位安定	図 d	涵養域荒廃涵養機能低下, 湖沼消滅	地下埋設物流動阻害下流域, ダム・堰撤去
上昇後水位安定	図 e	土砂ダム形成	地下埋設物流動阻害上流域, ダム・堰建設
低下傾向長期継続	図 f	地球寒冷化(海面低下)	地下水過剰揚水による地下水位低下
上昇傾向長期継続	図 g	地球温暖化(海面上昇)	地下水過剰揚水・地下水位大幅低下後の地下水採取規制効果で地下水位回復(上昇)

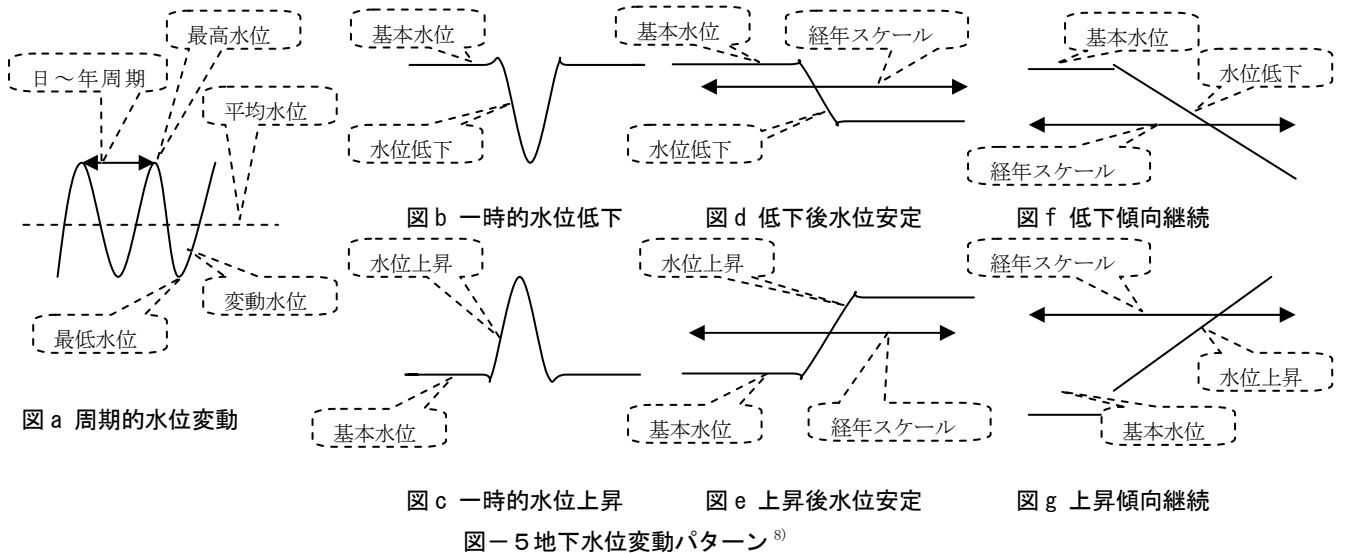


図 a 周期的水位変動

図 c 一時的水位上昇

図 e 上昇後水位安定

図 g 上昇傾向継続

図-5 地下水位変動パターン<sup>8)</sup>

対象地域の想定される地下水位変動パターンが説明できる期間の観測が必要で、観測した観測結果の変動パターンから要因を想定して、その検証データ取得を調査対象とする場合もある。

## 2.4 流出域調査

地下水は表流水に比べて、目に見えないことと、流速が極端に遅いことに特徴があるが、流出域における湧水は、地下水の出口とも言えるので、湧水の水量と質は、地下水の状況を反映したものである。従って、対象流域内に湧水がある場合には、その湧出水量と水質が、地下水状況評価の貴重な手掛かりとなる。環境基本法に基づく第三次環境基本計画(2006年7月閣議決定)では、環境保全上健全な水循環確保に向けた取組の指標となる参考データのの一つに『湧水の把握件数』を挙げている。これは、湧水が地下水環境のモニターであることと、湧水件数を経年的に把握することで、地下水環境の健全性評価の手掛かりになることを期待したものである。

## 2.6 水収支検討

水循環の観点からは、地下水の流域内に入り

する水の収支把握が極めて重要である。

図-6と表-5に地下水単流域内の収支項目の関係を示す。

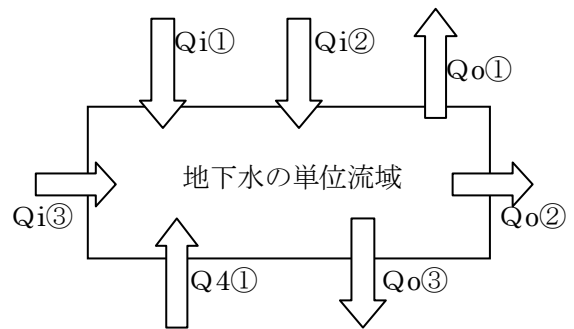


図-6 地下水流域水収支

表-5 単位地下水流域の水収支項目

区分	記号	水収支項目
流入水	Qi1	降雨浸透地下水
	Qi2	人工涵養
	Qi3	上流側地下からの流入水
	Qi4	帯水層下位層からの流入水
流出水	Qo1	地下水揚水
	Qo2	下流側地下への流出水
	Qo3	帯水層下位層への流出水

水収支の基本的評価は

$$\begin{aligned} \Sigma(\text{流入水}) - \Sigma(\text{流出水}) &\approx 0 \Rightarrow \text{地下水位一定} \\ \Sigma(\text{流入水}) - \Sigma(\text{流出水}) &> 0 \Rightarrow \text{地下水位上昇} \\ \Sigma(\text{流入水}) - \Sigma(\text{流出水}) &< 0 \Rightarrow \text{地下水位低下となる。} \end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned} \Sigma(\text{流入水}) &= Q_{i1} + Q_{i2} + Q_{i3} + Q_{i4} \\ \Sigma(\text{流出水}) &= Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} \end{aligned}$$

即ち、単位流域内に入る水よりも外に多く出れば、流域内の水は不足し、地下水位は低下する。逆に、単位流域内に入る水よりも外に出る水量が少なければ、流域内の水の貯留量が増えて、地下水位は上昇する。地下水は水循環のもと、流動するとは言え、有限である所以である。

これらの水収支を、渇水期と豊水期ごと、かつ経年的に求めることで量的過不足の概略が把握でき、対策検討の基礎資料とすることができる。即ち、水収支の経年変化と、各種環境変化との相関から、環境悪化要因を抽出したり、各種保全施策の検証基礎資料とすることができる。

水収支計算の方法は下記に例示するように多種多様あり、それぞれ一長一短があるので、目的にあった方法を選択する。

- ① 年間水収支法(水収支項目ごとの年間総水量間の収支)〔同じ要領で、渇水期と豊水期の各短期間でも実施することが望ましい〕
- ② タンクモデル解析(非定常法)
- ③ 有限要素法(平面2次元, 準3次元, 3次元)
- ④ 差分法

## 2.7 モニタリング

モニタリングの意義は、表-6にまとめたように、現在の地下水状態(量・質・水温、流動性、等)の把握と各種地下水施策(保全、育水、等)の検証として位置付けることができる。

表-6 モニタリングの意義

現在の地下水状態(量・質・水温、流動性、等)の把握	バックグラウンドの把握
	異常(環境変化)の検出【環境監視】
各種地下水施策(保全、育水、等)の検証	住民へのアカウントビリティの基礎情報
	次の施策検討への基礎情報

事前調査としてモニタリングを実施していればバックグラウンド値の把握ができ、その後の継続調査によって、異常(環境変化)の検出(環境監視)の役割を果たすことができる。

各種地下水施策を講じていた場合、このモニタリングで得た情報によって効果が検証できれば、住民へのアカウントビリティの実証的検証情報として使えるし、次の施策検討の貴重な指標となることも期待できる。近年新たに期待されているモニタリングの役割である。

このモニタリングは、地下水位観測井や既設井戸が活用でき、湧水が分布する地域では湧水も活用できる。

モニタリングは、できるだけ多くの観測地点を確保して、できるだけ高頻度で長期間継続することが理想である。極端な言い方をすれば、絶対値としての精度の高い調査を単発で実施するよりも、相対的精度が維持できていれば、ラフなモニタリングでも長期継続してデータが蓄積されることの方が、環境的視点からは、重要と考える。

## 3. 地下水問題におけるトレードオフの課題

地下水問題の解析、特に広域地下水問題では、規模的かつ技術的にも全て自前で直接調査して必要な情報を集めることは難しく、既往データ<sup>9)</sup>や一般値を活用せざるを得ないことが多い。

目的や立場別に必要とする地下水情報項目を表-7に例示する。

表-7 地下水情報項目の例示

分野・立場・ニーズ・他	必要な地下水情報項目
地盤沈下地帯	地下水位の経年変動
地下水湧出浸水地帯	地下水位の連続観測
地下水・地盤汚染	地下水の流向と水質
地下横断施設埋設による流動阻害対策	地下水の流向と水位
地中熱利用	地下水温
地下水利用地帯(揚水利用)	地下水位の連続観測、水質
井戸開発	揚水可能量、適正揚水量、水質
環境アセスメント	地下水現況(水位、流向、水質、水温、他)のバックグラウンド
地下水環境モニタリング	地下水位、流向、水質、他
地震モニタリング	地下水位、水質、ラドン濃度、他
地盤解析	設計地下水位(定義はあいまい)

これらの情報には、個々のデータ間で精度と品質の差があったり、誤差や不確実性も伴うことから、データの取りうる範囲で安全側の設定をすることがある。この安全側の考え方や程度が、問題によって異なる場合があり、この認識を持たずに、既往データを活用したり、一般値を使って検討すると、実態に合わない外れとなることもあり、

注意が必要である。地下水問題におけるトレードオフの課題の代表的事例を参考までに以下に例示する。

① 地下水位：表-8に一例を示すが、問題によって地下水位を高め設定の方がよい場合と、低めに設定の方がよい場合とがある。1つのサイトであっても課題ごとに設定地下水位を変えて検討する必要がある。

表-8 設計地下水位における安全側設定の選択例

設計地下水位	安全側設定	
	最高水位	最低水位
地盤工学的課題		
液状化検討	○	
圧密沈下検討		○
すべり安定解析	○	
直接基礎支持力	○	
揚圧力	○	
掘削排水計画	○	
木杭導入		○
周辺への影響		○
地下水汚染	○	
湿性生態系への影響		○
乾性生態系への影響	○	
地盤汚染対策	○	

② 表面流出率(=1-地下浸透能)：総合治水としての河川流出解析や下水排水計画では、表面流出

率を取りうる範囲で大きめに評価するが、降雨時の斜面安定解析では表面流出率を取りうる範囲で小さ目〔地下浸透能(1-表面流出率)を大き目〕に評価した方がよい場合がある。また、地下水利用計画では、地下浸透能を大き目、小さ目ではなく正確に評価することが求められる。

③ 透水係数：同一地域で工事掘削と地下水利用のための井戸掘削がある場合、工事掘削では透水係数を大き目に評価、井戸掘削では透水係数を小さ目に評価する。

4. 育水を踏まえた地下水利用の考え方

先にも述べたが、人間活動の拡大によって、顕著な開発行為が行われていなくても、徐々に自然環境の悪化を招き、水環境の健全性も損なわれていくことが懸念されている。また、水は人間の生存にとって欠かせない環境要素であり資源である。否応なく水資源の確保は継続的に実施されていく。従って、顕著な開発時にだけ保全策を検討実施するのではなく、水環境保全の立場からは、日常的に育水に関わる施策を実施し、水循環健全性の好循環を作り出し、そのような枠組みの中で、必要な水資源を活用していくことが、これからは望まれる。育水を踏まえた地下水利用の枠組みを表-9にまとめた。

表-9 育水を踏まえた地下水利用の基本的考え方

考え方区分	地下水は誰のものか？	地下水利用上の制約	環境思想	地下水利用の基本的考え方
従来の考え方	民法【明治29年[1896年]制定】の規定『第207条 土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ。』を踏まえ、土地所有者の私権の範囲とされ、右記の制約をクリアすれば、自由に只で利用できる」と解釈されてきた。【私水的位置付け】	地下水規制法令に準拠。環境影響(地盤沈下、塩水化、涸渇、等)を起こさない。	環境配慮型	I 自然界の水循環の許容範囲内で使う
これからの考え方	水(地下水を含め)は人類および地球生物生存に欠かせない資源であり環境要素である。水循環の一環のもと地下水流動系をなして存在。地下水の量と質は流域全体の保全努力があればこそ、維持されている。上記を踏まえ、 <b>水および地下水は流域の有限な共有資源・共有財産</b> と解釈する。【公水的位置付け】従って、地下水は決して只ではないし、個人の都合で独占したり汚したりしてはならない。	上記に加え、流域内での合意形成と応分の負担が必要。新たなルールが必要。	育水型 [環境負荷低減型]	II 流域単位で貯蓄(水質保全)して、その範囲内で使う
				III サイト単位で貯蓄(水質保全)して、その範囲内で使う
		IV 使ったら、使った分を所定の水質水温に戻して還す		
	事業単位で実施可能	V 利用後水の再生水や雨水を利用する		

また、育水を踏まえ地下水利用モデルのII~Vについて、共生の視点、涵養、取水、還水について比較を表-10にまとめた。ここで既往システム

とは、主にいわゆる下水道とその終末の浄化システムをイメージしている。

表-10 人工的水循環のパターン<sup>5)</sup>

モデル	共生の視点	涵養	取水	還水
II	消極的共生	流域単位での積極的涵養域保全	適正な量の範囲内での取水	既往システム
III	積極的育水	上流域で人工涵養	特定サイトで取水	既往システム
IV	ミティゲーション育水	人工涵養リチャージ	特定サイトで取水	近傍浄化還水
V	水循環確保	—	取水還水最小化	

5. 育水 の概念と地下水保全・制御の要素技術例

『育水』は水と人類との共生を踏まえた『健全な水循環確保』に欠かせない人類の水管理行為で、具体的には水量のコントロールと水質のコントロール技術の両者を指す概念である。

流域の秩序に反した地下水利用を行えば、水環境の悪化(水量低下, 水質悪化, 地盤沈下)を招き、水循環の健全性が低下・喪失し、地下水利用規制を導入せざるを得ない環境となることは前述した。

一方、流域の秩序に則った地下水利用が行われれば、水環境の保全と健全な水循環の確保が維持され、地下水利用の持続可能性も確保される好循環を創出できる。

ここで言う秩序の1つを『育水』と考えている。このような概念のもと、水環境全般に共通する施策の概念として図-8に示すように『利水』『治水』『育水』を併せて考えることが重要である。

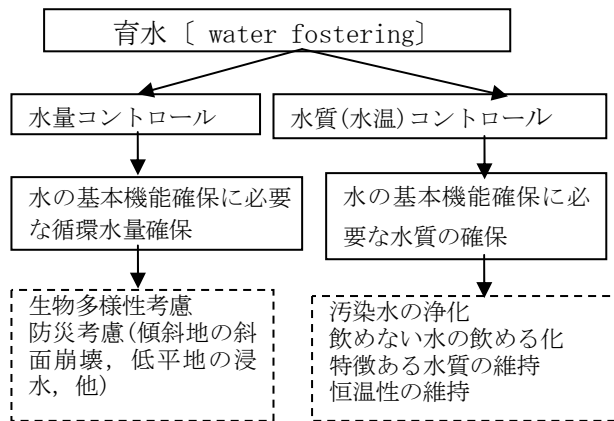


図-7 育水による制御の概念

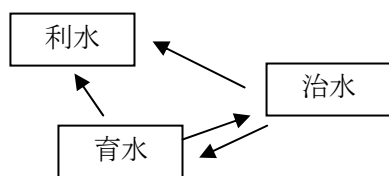


図-8 『利水』『治水』『育水』

現在各地で既にも実施されている地下水保全・制御技術から、育水に活用可能な要素技術を表-11に例示する。

表-11 地下水保全・制御の要素技術例

大区分	No.	手法例
涵養域保全	1	土地利用管理(用途保護・制限)
	2	森林保全
	3	水田の涵養機能維持
人工涵養	4	涵養域での人工涵養
	5	流動域での人工涵養
	6	使用後浄化水の還水
	7	工事揚水の覆水(リチャージ)
	8	人工施設内への漏水の覆水(リチャージ)
雨水浸透促進	9	雨水浸透施設設置
	10	浸透型の調節池・調整池・遊水地・他
河川構造物	11	ダム, 堰
地下構造物	12	地下ダム, 地下水迂回工法
その他	13	湧水保全・復活, 統合的水管理

6. 地下水の多様性とコンプライアンス

地下水の流動性と地下水が果たしている機能を踏まえれば、流動地下水は流域の共有資源・共有財産であるとの基本認識と、水環境(水循環)の保全と水利用計画は、健全な水循環確保の観点での開発管理等は、流域単位で管理運用するのが望ましいと考える。但し、この地下水の単位流域は、地表の河川流域と必ずしも一致しないことと、行政機関の管轄が複数に跨ることが多く、施策の策定に当たって制約が多い。

地下水の見方は表-12に例示するように極めて多様である。

表-12 地下水の多様性

所有権	公水的側面, 私水的側面
機能	水(地下水)は人類および地球上の全生物にとって必要不可欠な環境要素(機能・資源)
存在形態	水は循環をなして存在→地下水は水循環の一形態(地下水流動系)
有限性	地下水は有限(量と容れ物)
地域性	水の地域特性

この内、地下水の所有権は現時点では、必ずしも公水と私水とで二者択一とすべきではないと考えている。基本は公水的側面と私水的側面を両立させ、地域の事情に応じて公水的側面と私水的側面の割合が異なるという考え方が現実的と考えている。

また、地下水は地域特性に基づく以下に示すような有限性を念頭に考える必要がある。

- (1) 量〔流域の気候(降雨, 降雪条件), 地形(集水地形), 土地被覆・土地利用(浸透能)〕
- (2) 容れ物としてのキャパシティ

『育水』の概念は、地下水だけを特別扱いするのが主旨でもないし、地下水を大いに使いたまう、という啓発でもない。あくまでも、健全な水循環確保の観点での開発管理も同じ枠組みの中で考え、表流水を含め環境との共生を考慮した各種水資源利用方法のメニューの中に、きちんと地下水を位置づけた上で、総体的に地下水の有効性が検証された時に、効果的に地下水を使えるようにしたいというのが狙いである。

地下水利用は、物理的条件だけではなく、水環境の機能維持の理念と必要な水資源確保の中でのバランス感覚、即ち、地下水利用に関わるコンプライアンスが重要と考える。従って、育水を踏まえた地下水利用や開発と地下水保全対策に当たっては、地下水利用に関わるコンプライアンスを踏まえた市民啓発・連携が重要と考えている。図-9に地下水利用に関わるコンプライアンスのイメージを示す。

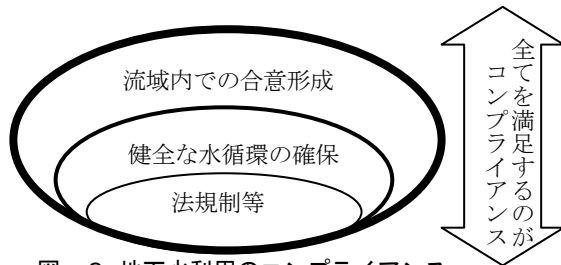


図-9 地下水利用のコンプライアンス

## 7. おわりに

地下水流動特性は自然誘因で常に変動し、人為誘因による変動が更にそれに重なっている。従って、自然界の水循環と人為的水循環とを分けて考え、その変動特性の中で健全性の範囲を見極めていかなければならない。しかも、これは地域ごとに事情が異なるが、『地下水は有限な流域の共有資源・共有財産』の基本理念のもと、『育水』施策を前提とした流域ごとの健全性の評価基準の合意形成を設定していかなければならない。このように地下水の複雑な変動形態と長期的な変動特性を考えると、コンプライアンスなくしては成立し得ない世界である。

最後に地下水環境保全を踏まえた調査のポイントを以下に列記する。

- ① 単位地下水流域(閉じた系としての水循環をモデル化できる最小単位)で考える
- ② 単位流域内での大局的な地下水流動特性(地下水流動系モデル)の把握
- ③ 単位流域内(特に涵養域)における過去から現在に至る長期的な土地利用変化の把握
- ④ 単位流域内における過去から現在に至る長期的な地下水利用実態の把握
- ⑤ 短期・中期・長期それぞれの地下水位変動特性の把握
- ⑥ モニタリングデータの蓄積と検証

## 引用・参考文献

- 1) 健全な水循環の確保に関する懇談会報告書: 健全な水循環の確保に向けて～豊かな恩恵を永続的なものとするために～, 環境庁水質保全局企画課地下水・地盤環境室発行, 1998.1.
- 2) 環境省総合環境政策局編集・大気・水・環境負荷分野の環境影響評価技術検討会編: 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, p.8, 2006.1.
- 3) 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〔地下水と上手につきあうために〕, 共生型地下水技術活用研究会発行小冊子, 2007.12.
- 4) 西垣 誠監修・共生型地下水技術活用研究会編: 共生型地下水適正利用ガイドライン〔地下水と上手につきあうために〕, 共生型地下水技術活用研究会発行小冊子, 2010.3.
- 5) 中村裕昭: 地下水を上手に使いながらも健全な水環境を後世に引き継いでいくために―地下水利用コンプライアンスと育水―, 地下水地盤環境に関するシンポジウム2011―水環境の保全と育水―, pp.1～8, 2011.11.
- 6) 農林水産省農村振興局企画部資源課監修: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説, 計画「排水」, 基準, 基準の運用, 基準及び運用の解説, 付録'技術書, 社団法人農業土木学会発行, p.218, 2006.3.
- 7) 地下水を知る編集委員会編: 地下水を知る, 地盤工学会, p.77, 2008.5.
- 8) 中村裕昭: 地下水位に関する考察, 第41回地盤工学研究発表会(鹿児島), 論文No.577, pp.1153～1154, 2006.7.
- 9) 中村裕昭: 地下水に関するデータベースの現状, 基礎工, Vol.40-2(463), pp.23～26, 2012.2.