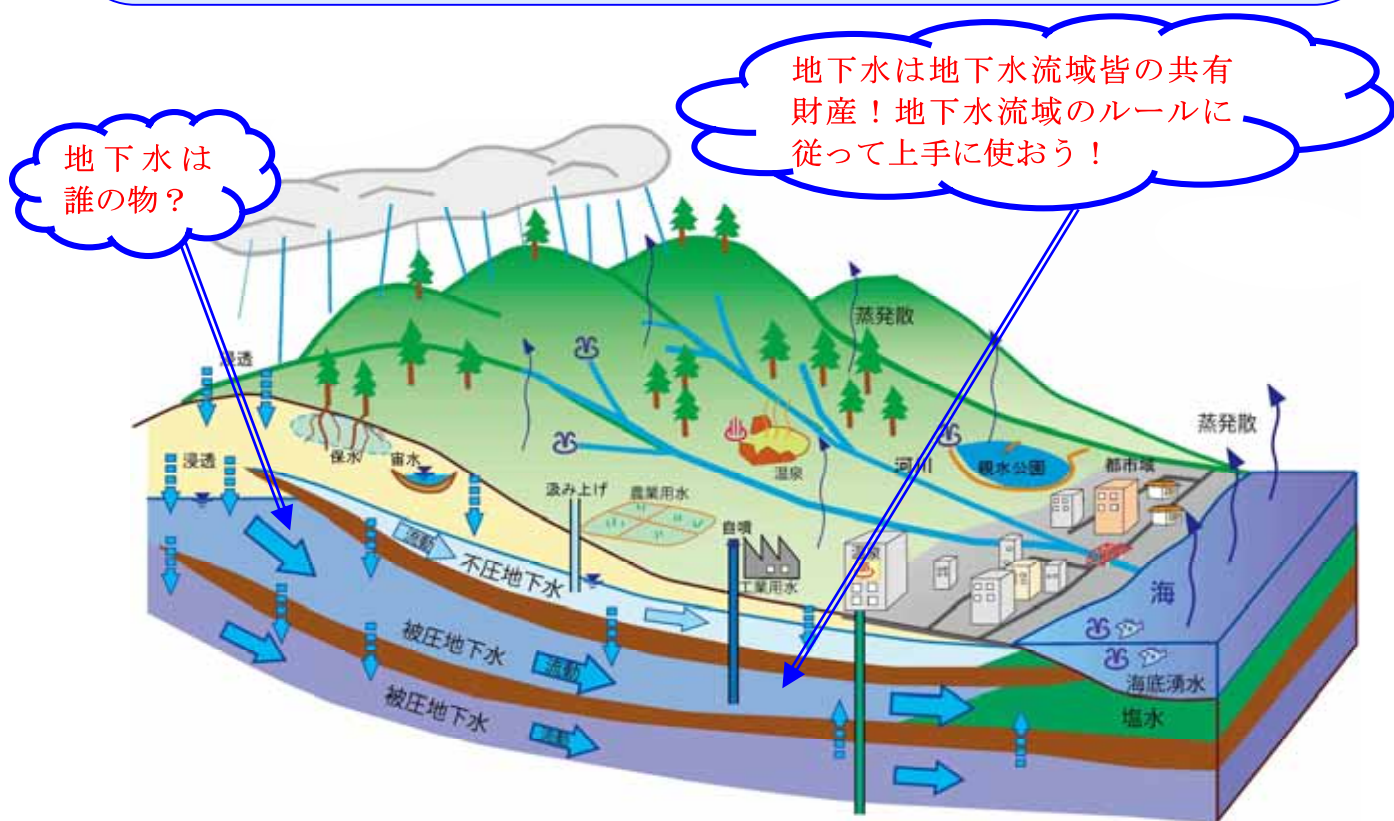


共生型地下水適正利用ガイドライン 〔地下水と上手につき合うために〕

西垣 誠 監修・共生型地下水技術活用研究会 編



【共生】	1. ガイドラインの主旨	1
【水循環】	2. 我が国における地下水利用の仕組みの現状と動向	2
【適正利用】	3. 健全な水循環を踏まえた地下水適正利用評価の基本的考え方	3
【共生型モデル】	4. 共生型地下水利用モデルの提案	4
【検討仕様】	5. 共生型地下水利用検討仕様(調査・計画)の考え方	5
【利用実態】	6. 地下水の利用実態を踏まえた利用可能性の検討	6
【概略調査】	7. 地下水の地域特性(水質と水収支)把握のための概略調査要領	7
【詳細調査】	8. 地下水の地域特性(水質と水収支)把握のための詳細調査要領	8
【予測】	9. シミュレーション解析による地下水適正利用量の予測	9
【育水】	10. 育水方法の例示	10
【浄化技術】	11. 水質浄化と膜ろ過技術	11
【コスト】	12. 地下水利用コストの考え方	12
【付加価値利用】	13. 地下水の付加価値利用(環境用水・防災用水・CSR等)	13
【備える】	14. 温暖化と地下水利用	14

1. ガイドラインの主旨

地下水は身近な水環境・水資源であるにも関わらず、海や川のように目に見える訳ではない。このことから、包括的法整備が遅れ、無秩序な利用で環境悪化(地盤沈下等)が進行している地域など、地域によっては賦存～利水状況も異なる。

しかし、地下水には、きれいな水の供給源、少子高齢化・緊縮財政下における設備更新費の経済性、災害時の分散型給水施設の有効性、ダムに頼らない利水、地球温暖化による不安定な表流水への代替えなど多くの有効性があり、適正な地下水利用のニーズが高い。この限られる地下水を適正利用するためには、自然と人間が調和した共生、育水という概念で、未来に共有財産を残すための適正利用方針が必要である。このガイドラインは、適正な地下水利用にあたって、自治体及び事業者が留意すべき事項を示したものである。

ガイドライン適用に際し、見えない地下水を見える地下水に変換できる『地盤・地下水コンサルタント』の技術を活用し、『地下水障害』防止を踏まえた『地下水の適正な利用』を実現することで、未来まで豊かな地下水が残っていくものとする。

古来より農村の森は、人が手入れして形成された自然と人間の共有物であった。近年、地下水も容易に手に入る資源になったが、目に見えないために共有財産としての認識が薄かった。その弊害が、地盤沈下や地下水汚染などで多く生じている。地下水の流域は、場合によって自治体の行政界を跨るため、広い流域単位で検討することが重要であり、この見えない地下水を、見える形にできるのが地盤・地下水コンサルタントである。そして、その技術を応用し、地下水を適正利用するために、このガイドラインがある。その基本は『共生』と『育水』と『コンプライアンス』である(図 1.1, 1.2 参照)。

地下水利用の具体的検討は、地域特性(自然環境と社会環境)、用途、利用範囲と流域規模のバランス等によって大きく異なることから、当ガイドラインは、具体的手順の詳細ではなく、共生型地下水適正利用にあたっての方向性の指針を示すものである。

このガイドラインの活用により、地下水の適正利用の推進、休止井戸復活による地域再生、環境用水や分散型防災用水、地下水利用ヒートポンプによる CO₂ 削減、自然の機能を活用した水質浄化、膜ろ過技術による高度な水質浄化など、我々にとって豊かな環境が身近なものとなる。また、CSR (Corporate Social Responsibility: 企業の社会的責任)を推進する企業にとっても、有効なものとなる。



図 1.1 基本的考え方のイメージ¹⁾

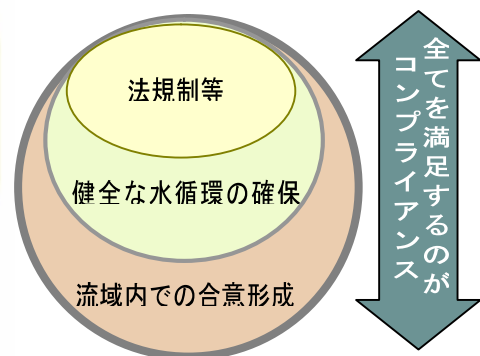


図 1.2 地下水利用のコンプライアンス²⁾

引用・参考文献：1) 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

2) 上田敏雄・瀬古一郎・西垣 誠・中村裕昭：健全な水循環確保を踏まえた共生型地下水利用の基本的考え方，地下水地盤環境に関するシンポジウム 2009—安心快適社会・地球温暖化・地下水—，2009. 11.， pp. 41～48

2. 我が国における地下水利用の仕組みと動向

近年、水循環や地下水流動系の概念は普及定着した感があるが、地下水を含む水環境・水資源に係わる綜合法規、及び地下水保全・利用を直接対象とした包括的法規は、我が国には残念ながら現時点では、成立していない。我が国の法規では、地下水環境の地域特性によって、保全と規制という2つの方向性があったのみである。

(1)地下水依存の高い自治体:地下水保全に関する条例等を制定

(2)広域地盤沈下を経験する自治体:地下水利用規制に関する条例等を制定

しかし、近年、(仮称)水循環基本法制定への動きや、ダムに頼らない治水・利水への動きなど、水循環の確保や適正な地下水利用に向けた法整備への動きが生まれつつある。

このような新たな地下水を取り巻く環境変化と、このガイドラインは基軸を同じくするものであり、「健全な水循環の確保」の中で「適正な地下水利用」を「地域再生」や「環境整備・保全」に機能させる施策が重要である。

地下水利用を考える前提として、地下水の所有権を、①土地所有権の範囲を規定する法律(民法)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に置く考え方の2通りある。しかし近年、地下水汚染が各地で顕在化し、それまでの地盤沈下防止対策の効果や世論の環境意識の向上により、地下水を共有資源(公水的)として考える社会的背景が、形成されつつあり、それを踏まえ、地下水保全条例や地下水保全費用・地下水利用の費用、責務等を規定する自治体が増えてきている。

更に、国レベルでは、地下水の健全な水循環のもとに適正な利用を確保するための方策として環境省が「(仮称)地下水管理の考え方(案)」を作成し、国土交通省では「総合水資源管理」等の審議が行われている。一方、水制度改革国民会議によって「水循環基本法要綱案(原案)」がまとめられている。

また、上水・下水施設の更新期での地下水活用による経費削減、ダムに頼らない利水動向、少子高齢化等により分散型施設へ移行、防災を考慮したシステム構築の地下水利用など、適正な地下水利用に対するニーズは社会に広くあり、それらを生かす取り組みが今後重要である。

(1) 地下水を共有資源・財産と規定している自治体の例

- ・ 埼玉県三郷市、神奈川県秦野市、岐阜県岐阜市、新潟県十日町市、福井県大野市

(2) 水源税等を導入している自治体の例

北海道・東北	岩手県(2006)、福島県(2006)、山形県(2007)	近畿	奈良県(2006)、兵庫県(2006) 滋賀県(2006)、和歌山県(2007)、
関東	神奈川県(2007)、栃木県(2008)	中国	岡山県(2004)、鳥取県(2005)、島根県(2005)、山口県(2005)、広島県(2007)、
北陸	石川県(2007)、富山県(2007)、	四国	高知県(2003)、愛媛県(2005)、
中部	静岡県(2006)、	九州・沖縄	鹿児島県(2005)、熊本県(2005)、大分県(2006)、宮崎県(2006)、長崎県(2007)、福岡県(2008)

(3) 地下水利用業者に地下水利用協力金・参加基金を求めている自治体の例

- ・ 神奈川県秦野市、山梨県北杜市、福井県大野市

(4) 揚水者の責務を規定している自治体の例

- ・ 岐阜県岐阜市、神奈川県秦野市

(5) 人工涵養(涵養池、休耕田、他)を実施している自治体の例

- ・ 神奈川県秦野市、群馬県高崎市箕郷町、富山県砺波市、福井県大野市

(6) 人工涵養(注水)を実施している自治体の例

- ・ 神奈川県秦野市〔冷却水を井戸で注水〕〔人工透析的浄化事業〕

3. 健全な水循環を踏まえた地下水適正利用評価の基本的考え方

地下水は流域の有限な共有資源・財産という基本的考え方を踏まえた場合、その地下水利用は流域内の量と質のバランスをとった利用を考えるべきである。

【量のバランス(有限性の認識)】

流域内の水循環のバランスをとった流域内での地下水利用可能量、合意形成可能な公平な配分方法、公益と私益のバランス

【質のバランス(負の遺産を遺さない、サステナビリティ)】

帯水層の浄化機能に負荷をかけない水質管理

3.1 健全な水循環確保とは

共生型地下水適正利用における健全性のポイントは、図 3.1、3.2 に示す自然界の水循環と人為的水循環との関係概念図において、何処から、何時、どれだけの量の取水をして、利用後、何処に、どのような質の水を、どのようなペースで還すか、の問題にある。その取水と環水によって、流域単位で自然界が本来もつ水循環による環境機能を損なわないことが、健全性評価の基本である。自然界が本来もつ水循環系の持続可能性(サステナビリティ:Sustainability)を維持する方策を前提に、健全な適正利用方法が成り立つと考える。

3.2 流域内で合意形成可能な利用

『地下水は流域の共有財産・共有資源』の認識のもと、流域単位の合意形成可能な地下水利用の仕組み構築が必要である。残念ながら我が国は地下水についてそのような法的整備が未成熟である。だからこそ、『地下水利用のコンプライアンス』²⁾の枠組が重要になる。それは、図 1.2 で示したように、現行の法規に則っているかだけでなく、将来にわたって健全な水循環が確保できること、流域の合意形成可能な範囲で利用することがポイントになる。

3.3 地下水を上手に利用するための工夫(育水他)

地下水の適正利用の基本は、①健全な水循環を確保できる許容範囲内であること、②育水と利用のバランス内であること、のふたつの考え方にある。その範囲内、バランス内での利水には、『育水』を基本にしたバランスのとれた利用形態の工夫が重要である。たとえば、地下水の涵養に積極的に関与し、地下水汚染や障害を起こさないシステムや管理基準の構築、生活文化や思想なども含めた共生による水循環サステナビリティの維持など、『育水』『共生』『循環』の考え方を基本とする。

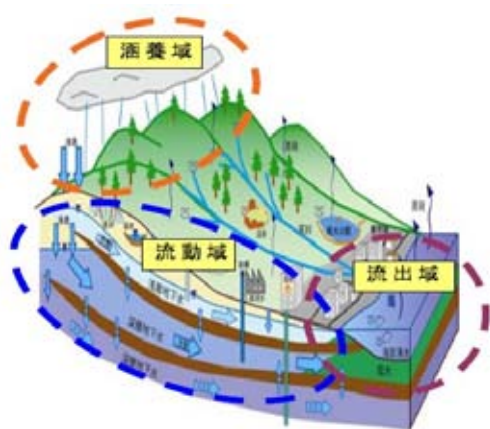


図 3.1 水循環概念図

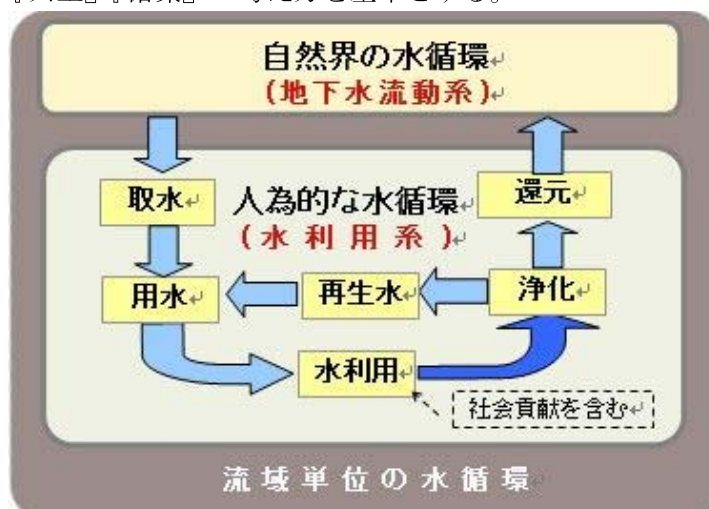


図 3.2 自然界の水循環と人為的な水循環との関係

4. 共生型地下水適性利用モデルの提案

地下水の適正利用の基本は①健全な水循環を確保できる許容範囲内か②育水と利用のバランス内の2通りである。これら共生型地下水適正利用方法は、育水方法、還水方法、再生水の利用度合い、等によってⅠ～Ⅳのモデルに要約した。

研究会としては、より積極的な育水策を踏まえたⅡ～Ⅲモデル、及び再生水活用によって環境負荷低減を目指したⅣモデルを適正利用モデルとして推奨提案する。

具体的には共生型地下水の活用目的¹⁾に応じていくつかの活用モデルがあり、これらのモデルを適切に組み合わせて水源の多源化あるいは用途の多面化・付加価値化を図る。活用モデルを有効に利用するためには、地下水の分布、取水、涵養に関する十分な事前調査やモニタリングが必要である。

4.1 育水を踏まえた共生型地下水適性利用モデル

地下水適正利用には地域特性や事業主体の立場・規模により表 4.1 に示すⅠ～Ⅳのモデルに要約し、ⅡとⅢの「育水」を基本理念とする。

- Ⅰ 自然の水循環許容範囲内での地下水利用
- Ⅱ 涵養域保全の実施を踏まえた地下水利用
- Ⅲ 人工涵養または地下水リチャージによる方法
- Ⅳ 取水と還水の最小化による再生水利用促進

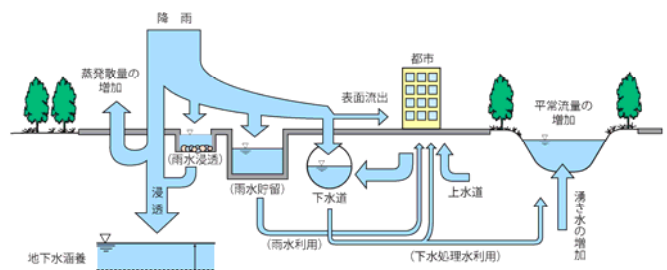


図 4.1 浸透貯留による地下水涵養(リチャージ)³⁾

表 4.1 共生型地下水適正利用モデル総括表²⁾

モデル	共生	範囲	環境思想区分		水収支	涵養	取水	還水
Ⅰ	消極的共生	流域単位	涵養域保全型	環境配慮	涵養最大化型	流域単位での積極的涵養域保全	適正利用内での利用	既往システム
Ⅱ	積極的育水	事業単位	環境負荷低減型	水循環ミティゲーション	涵養取水相殺型	上流域で人工涵養	特定サイトで取水	既往システム
Ⅲ	ミティゲーション育水				取水還水相殺型	人工涵養リチャージ	特定サイトで取水	近傍浄化還水
Ⅳ	水循環確保				取水還水最小化型	—	取水還水最小化	

注.1: 還水とは、自然の水循環系に水を戻すこと。注.2: 環境負荷とは、ここでは主に地下水位低下と水質悪化。
注.3: ミティゲーションとは、失われる環境を別の形で補填する考え方。注.4: リチャージの例(図 4.1 参照)

4.2 地下水利用における水源の多源化と用途の多面化・付加価値化

地下水利用に当たっては、地域特性とニーズを踏まえて活用モデルを利用する。水源の多源化や用途の多面化・付加価値化を図るための活用モデルとして①多重水源確保モデル ②環境用水モデル ③水再生モデル等があり、災害・非常用モデルとして③分散型水供給モデル ④遊休井戸活用モデル ⑤災害協定モデル、健全な水循環を確保するために⑦地下涵養モデルなど(図 4.2)がある。

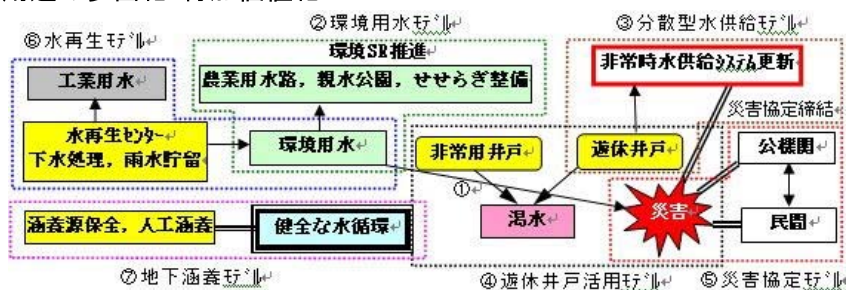


図 4.2 活用モデル

引用・参考文献: 3) (社)雨水貯留浸透技術協会 Web ページ, <http://www.arsit.or.jp>, 2009.11.5

5. 共生型地下水利用検討仕様(調査・計画)の考え方

共生型地下水を適正に利用するには、地下水を取りまく課題や問題点を抽出し、水質と水収支に関わる情報を収集すると共に、適切な調査・解析・モニタリングを行うことが重要である。

調査・計画にあたっては、帯水層の対象規模や地下水への影響度を踏まえ、調査内容や調査項目及び数量を決定する。

5.1 共生型地下水の利用・検討の考え方

共生型地下水を適正に利用するには、第一に地域に適した利用目的や目標を明確にすることが重要である。次ぎに地域や流域の地下水特性（水質と水収支）を把握するために概略調査や詳細調査を行う。その結果をもとにシミュレーション解析により適正利用量を予測し、観測・モニタリングにより検証する。

地下水の利用計画は、地下水の持つ多面的な付加価値をコスト面や環境への負荷を考慮し、検討する。



図 5.1 地下水利用・検討の考え方

5.2 共生型地下水の利用・検討の流れ

- ① 地下水の利用実態を踏まえた利用可能性の検討
地下水の利用方法や活用モデルを、その地域の利用実態を把握した上で検討する。
- ② 地下水の地域特性〔水質と水収支〕把握のための概略調査
公開されている情報を収集・整理し、その地域の地下水特性を把握すると共に、詳細調査の計画立案を行う。
- ③ 地下水の地域特性〔水質と水収支〕把握のための詳細調査
地下水の量を調べる調査、地下水の量を調べる調査、地下水涵養・流動を調べる調査、地下水の質を調べる調査を選定し、地下水シミュレーションに必要な情報を得る。
- ④ シミュレーション解析による地下水適正利用量の予測
地下水を汲み上げた時の地下水の流動方向、流量の変化、周辺地下水位の変化などを予測し、流域内の適正な地下水揚水量を把握する。また、その結果は観測やモニタリングにより検証し、実態にあわない場合はフィードバックによる見直しを行う。
- ⑤ 環境負荷低減のための涵養と還水の検討
流域の健全な水循環を確保し、環境への負荷を低減するための手法として、地下水の涵養と還水の方法を検討する。
- ⑥ 地下水利用コストの検討
地下水を“流域の共有財産”として捉え、流域全体のコスト削減や環境への影響を考慮した利用コストについて検討する。
- ⑦ 地下水の付加価値利用(環境用水・防災用水・CSR等)
地下水の持つ多くの利用価値を各地の事例や地域の特性を踏まえて検討し、最適な利用方法を提案する。

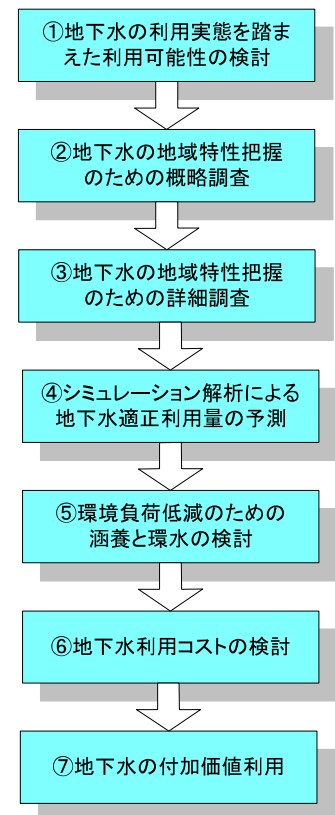


図 5.2 地下水利用・検討の流れ

引用・参考文献：4) 今後の地下水利用のあり方に関する懇談会：健全な地下水の保全・利用に向けて、平成 19 年 7 月

5) 共生型地下水技術活用研究会：共生型地下水技術活用研究会公開セミナー 講演集 平成 21 年 4 月

6. 地下水の利用実態を踏まえた利用可能性の検討

水は地球上にある有限の資源であり、地下水は大きな水循環系を構成する要素の一つである。従って、地下水の利用実態把握は地下水に関するものだけでなく、地下水に影響を及ぼすと考えられる全ての項目が対象となる。

対象地域の地下水の利用可能性を検討するには、地下水の利用目的を設定した上で、問題点や課題を抽出し、後述の地下水調査を計画・実施する。

6.1 地下水利用実態の把握

調査範囲は、大気から大地・河川等を経て海域にいたる水循環系の中で捉えることが重要である。水循環は面的な広がり（上流域から下流域）、立体的な広がり（地表水から地下水）を有することから、調査対象箇所だけでなく、調査対象箇所を含む流域全体で考える必要がある。

さらに、地下水のみの利用実態を把握すれば良いということではなく、地下水利用に影響を及ぼす可能性のある項目について情報を入手し、総合的に地下水利用実態を把握しなければならない。

6.2 地下水の利用可能性の検討

地下水の利用可能性を検討するには、水理地質に関するデータが最も有効である。一方、他のデータからも間接的に地下水の利用可能性を検討することができる。

表 6.1 に地下水の利用目的に対して着目する内容（問題点）とその資料の例を示す。

表 6.1 地下水の主な利用目的とその着目点及び資料例

地下水の利用目的	主な 着目点（問題点）	資 料 例
流域の貯留浸透・涵養能力の保全・回復・増進 (水を貯える・水を育む)	異常気象による少雨・多雨の較差拡大	気象データ、河川流量データ
	森林・農地等の土地利用変化	土地利用状況、人口統計
	ウォータービジネスによる需要拡大	工業統計、業界誌
	各種用水需要の変化	各種統計及び白書、台帳
効率的な利活用 (水を上手に使う)	水源開発の必要性（施設の老朽化）	施設台帳、水道統計、都市計画
	地下水位の回復・上昇に伴うリスク	条例、法令、水位測定
	地盤沈下や地下水の塩水化	条例、法令の有無、環境白書
	ヒートアイランド現象	気象データ、都市計画
	ウォータービジネスによる需要拡大	工業統計、業界誌
水質の保全・向上 (水を汚さない・きれいにする)	水質汚濁負荷の増大と汚濁物質の多様化	環境白書、学協会誌
	土地利用の変化（自浄化機能の低下）	土地利用状況、人口統計
	安全な水・おいしい水に対するニーズ拡大	工業統計、業界誌
水辺環境の向上・回復 (水辺を豊かにする)	水面・水辺空間・緑地空間の減少	土地利用状況、人口統計
	生態系および植生の変化	環境白書、学協会誌
	環境用水確保の必要性	環境白書、都市計画
地域づくり (水とのかかわりを深める)	地域における水管理体制の変化	水道統計、慣行水利権
	地域住民との連携	環境保護活動（民間および行政）
	水文化の喪失	市町村誌、民話、言い伝え

これらは現在の状況だけでなく、変遷状況も把握するために、過去に遡ってデータを収集することが必要である。調査項目・データ入手先・まとめの考え方については7章に述べる。

引用・参考文献:6)健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議:「健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて」、平成15年10月

7)国土交通省 土地・水資源局水資源部:「日本の水資源」平成21年版,平成21年8月

7. 地下水の地域特性(水質と水収支)把握のための概略調査要領

地下水調査は段階的に実施することが原則であり、各段階で要求される内容と精度は異なる。

概略調査は机上調査であり、公開されている資料をもとに作業を行うもので、この後に実施する詳細調査に向けての基礎資料収集を目的とする。

概略調査は、地下水を含む水循環系の状態把握や課題の要因分析を行うための基礎調査であり、流域の自然特性や社会特性等に関するデータの収集が主体となる。また、将来に対する目標を検討するためには、地域住民の地下水に関する意識調査もこの段階で概略把握しておくことが望ましい。

図 7.1 に調査項目とデータ入手先、まとめの考え方の例を示す。

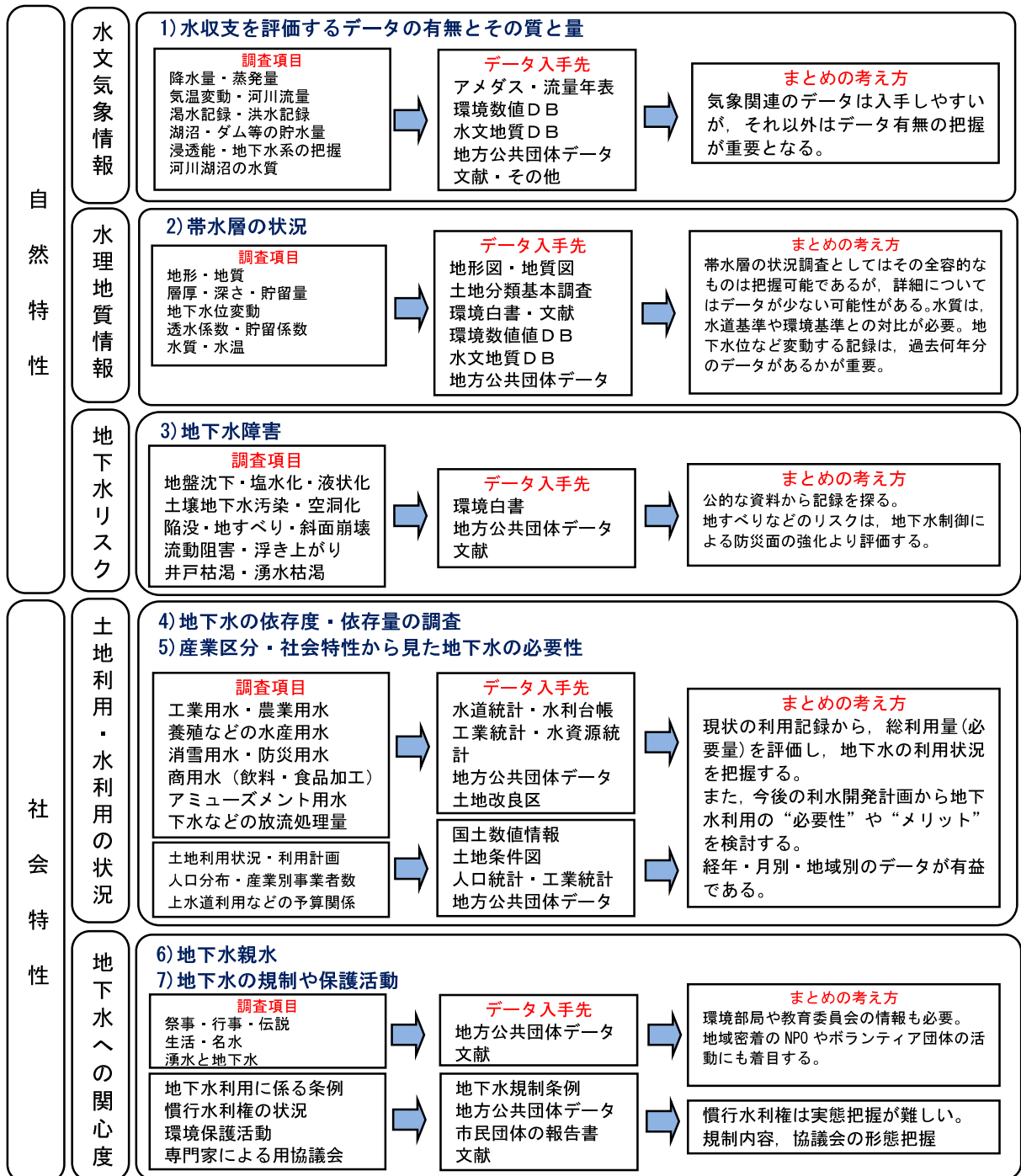


図 7.1 概略調査のデータ項目と入手先例

8. 地下水の地域特性(水質と水収支)把握のための詳細調査要領

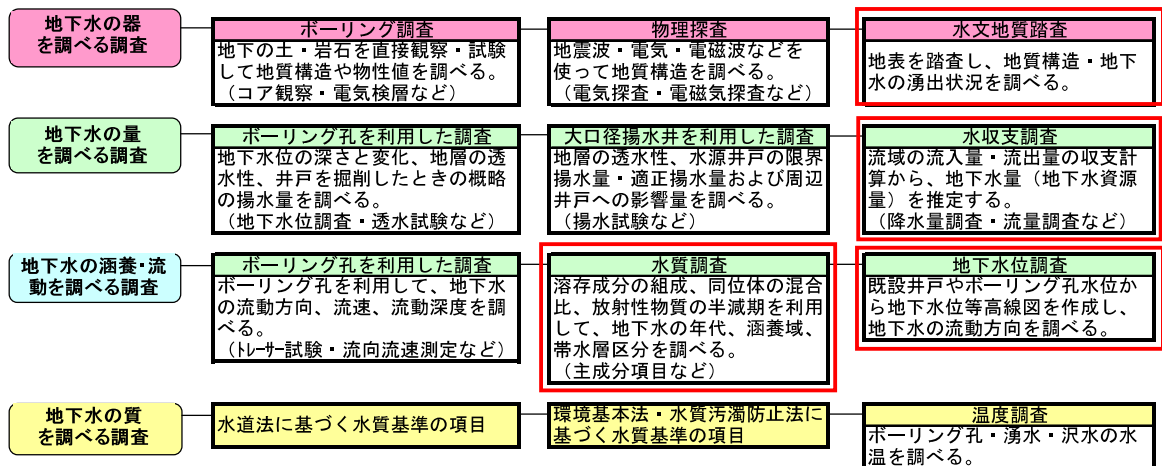
詳細調査は、地下水の器の構造・地下水の涵養量と涵養範囲・流動経路・年間の変動量・水質等の地下水地域特性を把握するため、現地調査によって定量的な情報を詳細に収集する。

共生型地下水利用にあたって必要な情報は、水収支のバランス、土壌や地層の浸透(透水)能力、地下水の涵養源の分布、地下水の流動経路と流出域の把握に加え、周辺水利用実態把握及びモニタリングのための地下水位や流量の継続的な観測が必要となる。

【調査方法】詳細調査は、「①地下水の器を調べる調査」「②地下水の量・変動を調べる調査」「③地下水の涵養・流動を調べる調査」「④地下水の質を調べる調査」に分けられ、調査方法を図 8.1 に示す。

【調査範囲】地下水は、「降水」→「浸透・涵養」→「貯留・流動」→「流出」→「蒸発散」の水循環の一過程として存在している。従って、対象地域の地下水特性を把握するためには、各循環経路での情報を幅広く収集する必要がある。調査範囲は、地下水の器(地下水盆)あるいは流域全体とすることが望ましい。しかし、膨大なコストがかかる上に隣接する他の自治体等との協議・調整が必要となることから、サイト周辺部に限定した調査となる可能性もある。

【調査手順】調査は、短期間・低コストで実施可能な水文地質踏査・水質調査や、コストはかかるものの最新の可視化技術を駆使した物理探査により広範囲の水利地質構造を把握し、調査範囲の絞り込みを行う。その後ボーリング調査や揚水試験等による定量的な情報を得る調査を実施し、効率的に地下水特性を把握することが望ましい。



比較的低コストでできる調査を示す

※各調査の歩掛かりは、「全国標準積算資料」(社)全国地質調査業協会連合会に詳しく掲載している。

図 8.1 必要とする情報と調査方法

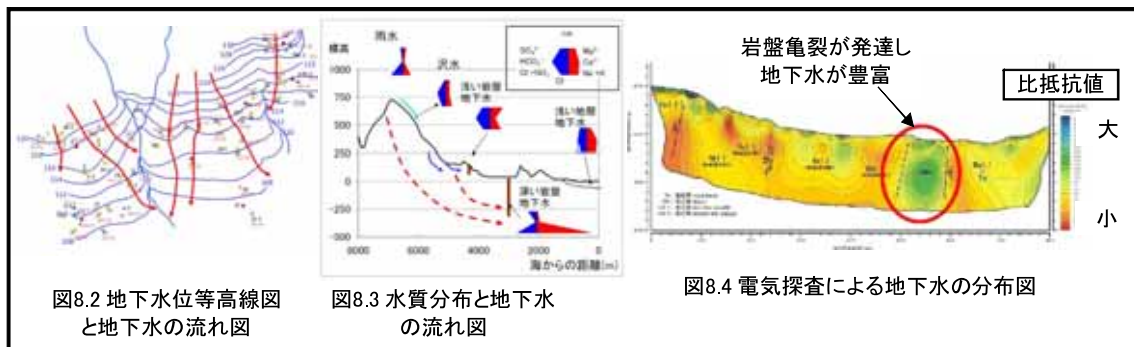


図8.2 地下水位等高線図と地下水の流れ図

図8.3 水質分布と地下水の流れ図

図8.4 電気探査による地下水の分布図

引用・参考文献：8) 建設省河川局監修：地下水調査及び観測指針(案)，1993

9) 社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004

10) 改訂地下水ハンドブック編集委員会：改訂地下水ハンドブック，1998

9. シミュレーション解析による地下水適正利用量の予測

地域における水環境調査結果から、流域の水理地質モデルを構築し、地下水を汲み上げた場合のシミュレーションを行う。シミュレーションにより、地下水の流動方向や流量の変化、汲み上げ箇所周辺の地下水位の変化などを予測し、流域における健全な水循環の維持が可能な水源井戸候補地の選定、井戸の配置、適正な地下水揚水量などを検討する。

9.1 シミュレーションが必要とされるケース

地下水を利用（地下水の汲み上げ）する場合、その流域の地下水と共生しながら有効利用するために、地下水の汲み上げに起因する地下水障害を起こさないよう、目に見えない地下水を数量化・視覚化して検討することが有効である。この数量化・視覚化のツールとして地下水シミュレーションがあり、以下のようなメリットがある。

- ①地下水が多い時期や少ない時期といった様々な状況下での地下水の変化を予測・比較検討できる。
- ②目に見えない地下水の流れを視覚化し、揚水量と地下水位低下量を比較検討できる。
- ③地下水揚水の影響の他に、地下水の涵養や地盤沈下・塩水化・水質汚染等の状況を予測できる。
- ④住民合意形成のためのプレゼンには、地下水挙動の視覚化（ビジュアル表現）が有効である。

9.2 地下水シミュレーションの流れ

地下水シミュレーションは帯水層構造に合わせて2次元、準三次元、3次元まで利用されている。

手順は、①地質構造のモデル化、②実測の地下水位・流量を再現できる現況再現モデルを構築する。予測は、③現況再現モデルに、地下水利用・涵養条件（井戸の位置・井戸揚水水位・揚水量など）をモデルに組み込み、その条件をかえながら地下水流動場を予測し適正利用量を検討する（図9.3参照）。

圧密沈下や塩水化などが問題になる場合は、対象地域での管理水位の検討や地下水管理上適切な観測井戸配置について検討する。

9.3 地下水シミュレーションを行う上の留意点

地下水シミュレーションでは、調査精度や涵養量（降水量）の変動、流域における他の地下水利用の変化などにより、時間の経過と共に予測と実際がずれてくることもある。このため、地下水位、揚水量、降水量等のモニタリングを長期に継続して評価し、必要に応じてシミュレーションモデルを再構築し、揚水量や管理値を再検討すべきである（図9.2参照）。

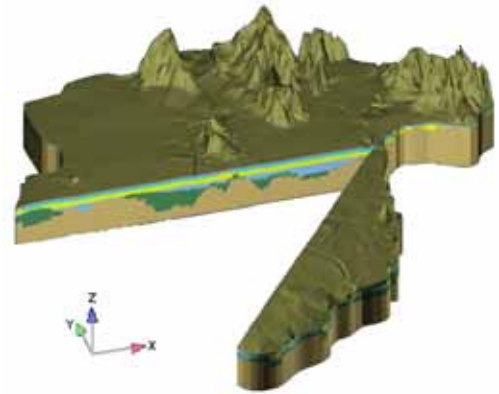


図 9.1 3次元帯水層構造例

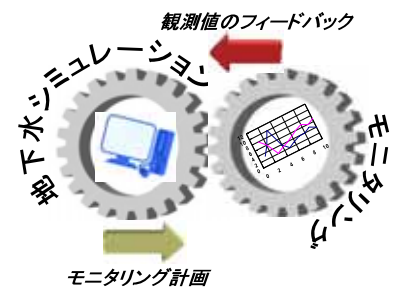


図 9.2 シミュレーションとモニタリング

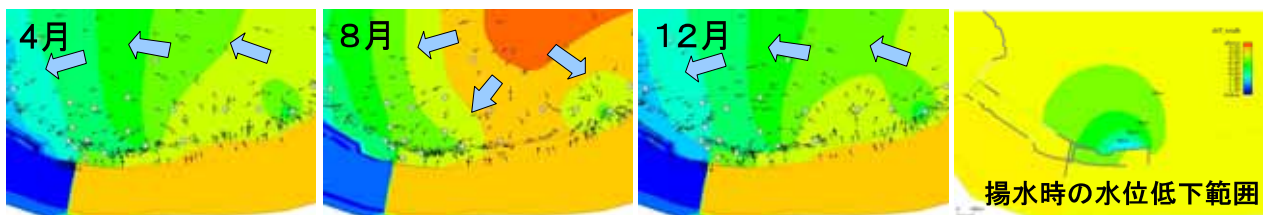


図 9.3 現況再現例と予測例（地下水位と流向）

10. 育水方法の例示

人間が地下水と共生していくためには「育水」という考え方が重要である¹⁾。「育水」の中でも、地下水を生み出す「地下水の涵養」は、地下水環境を支える重要な要素である。従って、人間が地下水の恵みをより多く享受するためには、地下水を生み出す「地下水の涵養」の重要性が認識され、水循環を構成する一つの流域の涵養域、流動域、流出域など各地域に適合した「地下水の涵養」を行っていく必要がある。

10.1 育水の要素技術の1つ地下水涵養

「地下水の涵養」は、既存の涵養源によるものと人工涵養があり、森林を保全し降雨時の流出係数を小さくし、水田や池、河川からの涵養機能など、既存の涵養源を保全することが、流域の健全な水循環を確保するためにまず重要である。人工涵養は、雨水や表流水、または一度揚水した地下水等を地下に人工的に浸透・注水する既往技術で、現在利用されている地下水の人工涵養の主な用途例を表 10.1 に示す。

表 10.1 実績のある地下水人工涵養の用途例

- ① 水資源の地下貯留
- ② 帯水層の蓄熱利用
- ③ 地盤沈下の防止
- ④ 地下水の塩水化防止
- ⑤ 地層での水質浄化

10.2 育水手段としての地下水の人工涵養方法

育水に採用可能な地下水の人工涵養方法のイメージを表 10.2 及び図 10.1 に示す。

表 10.2 主な人工涵養方法の概要²⁾

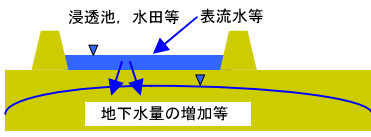
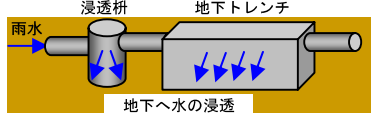
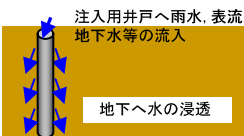
方法	概要
浸透池法 や水田法、 水路法など	 <p>浸透池、水田等 表流水等 地下水量の増加等</p>
地下トレンチ法 や浸透枡など	 <p>浸透枡 地下トレンチ 雨水 地下へ水の浸透</p>
井戸注入法 など	 <p>注入用井戸へ雨水、表流水、 地下水等の流入 地下へ水の浸透</p>



図 10.1 育水のイメージ

わが国では市街地や休耕地の拡大により、水田やため池の地下水の涵養機能が縮小しているが、地下水の人工涵養は、積極的・補償的な育水の手段である。

10.3 地下水の人工涵養の地質条件と留意事項

水田法などの拡水法は、表層付近に粘性土層の卓越しない地層構成が適しており¹²⁾、注入法では、井戸周囲の細粒分による目詰まりの生じ難い砂礫層が、適用し易い帯水層と考えられる¹³⁾。

次に人工涵養の留意事項を示す。①十分に余裕のある設計とする。②涵養施設は、物理的・化学的・生物学的に安定な材料を使用する。③涵養する水を前処理する。④材料の交換や施設の追加が可能な涵養施設にする¹⁴⁾。その他、⑤涵養する水源の確保についての流域での合意形成。等が挙げられる。

引用・参考文献：12) 富山県：地下水涵養マニュアル，2006

13) 西垣 誠：共生型地下水利用について，(社)地下水技術協会平成 20 年度秋季講習会講演集，2，2008

14) 西垣 誠：雨水浸透と地下水涵養の技術の現状，基礎工 vol. 30, No. 4, 10-13, 2002

11. 水質浄化と膜ろ過技術

水循環の健全性確保には水質の管理が欠かせない。水質の管理が必要な場合として以下の3ケースが考えられる。

- (1) 上水のための浄化
- (2) 再生利用のための浄化
- (3) 還水のための浄化

分散型の汎用的浄化設備の1つに膜ろ過技術がある。

膜ろ過技術は、分子レベルの細かな物質を物理的に除去できる、浄化時間が短い、設備が小規模、設備投資と維持管理を含めコストを下げられる可能性がある、等の特長がある。

11.1 育水と地下水利用における水質浄化の役割

地下水を利用した小規模分散型システムの環境面での利点を、既存の大規模取水浄化・配管ネットワークシステムと対比して表 11.1 に示した。膜ろ過技術が育水や環境負荷低減の各種システム実現の浄化に利用できる。

表 11.1 水利用システムの現行と提案型との対比

システム区分		自然の水循環系に対する取水と還水		水循環への影響
現行の都市型水利用システム	大規模取水浄化施設・長距離配管ネットワーク	場所が離れ過ぎている	時間遅れが大きい	水循環の健全性に障害 地下水過剰揚水の場合地盤沈下懸念
提案共生型地下水利用システム	小規模分散型+育水	取水還水間距離の短縮	取水還水間の時間遅れの短縮	水循環の健全性確保 地盤沈下懸念排除
	上記+再生水利用 [例：膜ろ過技術活用]	取水絶対量の最小化	取水絶対量の最小化に伴い取水還水間の時間遅れの影響も最小化可	同上

11.2 膜ろ過技術の概要と特徴

地下水にはさまざまな物質が溶解している。たとえば、飲料水として使用する場合には水道法に定める 50 項目の基準をクリアすることが必要である。金気と呼ばれる鉄、マンガンは酸化して砂ろ過で除去される。アンモニア性窒素は次亜塩素酸で酸化して窒素として除去する方法が一般的である。テトラクロロエチレンなどの有機塩素化合物は、表層から浅い帯水層を汚染することがあるが、曝気、活性炭などで除去する。最近では膜を使ってより高度な水質を得ることができる。膜は図 11.1 に示すように孔径の違いによって除去できる対象物質が異なり、名称も異なる。たとえば、MF 膜は砂ろ過で捕捉し切れない濁質の除去に使用される。また、硬度、蒸発残留物が高い原水を蒸発させると、スケールが残りやすくなるが、RO 膜を用いることでこのような成分を除去することができる。膜ろ過を用いた地下水浄化設備の例を写真 11.1 に示す。

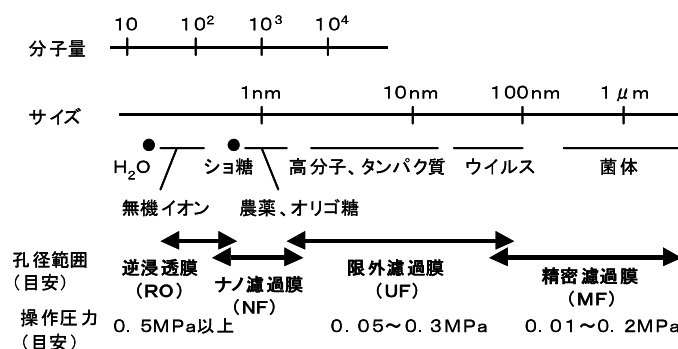


写真 11.1 膜ろ過を用いた地下水浄化設備の例

引用・参考文献：15) 久保田昇：「MF，UFの基礎」日本膜協会第10回膜分離技術セミナー 2004年11月
16) 土井正一：「安心な水 ー安全な水を安定に供給すること」建築設備士，2008年10月号

12. 地下水利用コストの考え方

地下水の利用コストについて3つの側面から考える。

- (1) 【地域特性】地下水は多くの利点〔例えば、水源が身近、良質、設備が簡易、恒温性、他〕を有するケースが多いが、利用の可否(適否)と制約条件には地域差がある。
- (2) 【社会環境】既存の用水供給システムは、地下水利用不可(不適)地域も含め、地域に公平に用水を供給できる利点があるが、施設設置に関わる投資額が大きく、昨今の緊縮財源下及び少子高齢化社会では、新たな設置と更新に大きな制約がある。一方、地下水利用可能地域では、地下水利用によって分散型で限定的な用水供給システム設置を優先度に応じて設置できる利点がある。
- (3) 【付加価値】地下水施設の分散型の利点から、防災給水源や環境用水利用等、また、涵養域保全は広く環境保全・防災への貢献も大きく付加価値が期待できる。

12.1 地下水利用の地域特性

地下水は多くの利点〔例えば、水源が身近、良質、設備が簡易、恒温性、他〕を有するケースが多いが、地下水利用が可能な地域と難しい地域、可能な場合であってもその制約条件の内容・程度には地域差がある。図 12.1 に地下水利用の観点での地域差のパターンを示す。制約条件に関する地域特性の観点から、流域単位での健全な水循環確保も容易、かつ既存の用水社会資本施設(ダム、浄水場、配管、等)に比べ、設備投資と維持管理費が相対的に安価な場合がある。現状では、水源としての地下水はタダとの認識を有する人もいるが、地下水が個人では管理できない流動物で、流域単位での健全な水循環確保に関する保全策実施の結果存在していることを踏まえれば、ある程度の投資の結果存在していることが分かる。但し、涵養域保全施策は必ずしも、地下水保全だけを目的にしているわけではなく、広く環境保全と防災、表流水確保も含めて実施していることから、地下水に限ってのコスト算出は単純ではない。

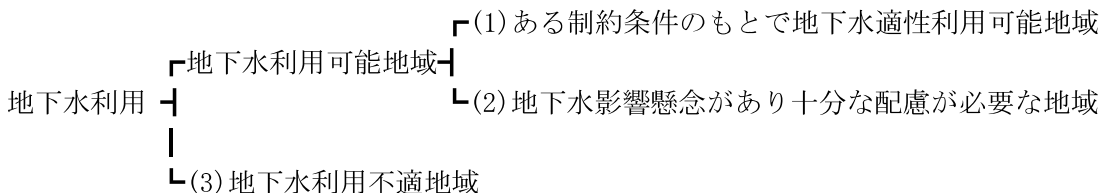


図 12.1 地下水利用の観点での地域差

- (1) 制約条件には、利用サイトでの条件と、流域における条件とがある。利用サイトでの条件は、例えば、採取深度、水量、水質、水温、等であり、流域での条件とは、流域単位での地下水保全と配分の問題〔有限な共有財産〕がある。
- (2) 地下水影響懸念とは、例えば過剰揚水に伴う地盤沈下や沿岸域での塩水化、等がある。
- (3) 主要な帯水層が存在しない場合、水質が悪く利用に適さない地域等である。

12.2 緊縮財源及び少子高齢化等の社会環境変化を踏まえた分散型用水確保

既存の用水供給システムは、地下水利用不可(不適)地域も含め、地域に公平に用水を供給できる利点があるが、施設設置に関わる投資額が大きく、昨今の緊縮財源下及び少子高齢化社会では、新たな設置と更新に大きな制約がある。一方、地下水利用可能地域では、地下水利用によって分散型で限定的な用水供給システム設置を優先度に応じて設置できる利点がある。

12.3 地下水利用の付加価値

地下水施設は、その分散型の利点から、防災給水源や環境用水利用等への付加価値利用が期待でき、また、涵養域保全は、広く森林環境保全や土砂災害防止への貢献の面でも付加価値が期待できる。従って、用水設置と維持管理の面からのコストだけでなく、社会貢献要素も加味して評価すべきである。

13. 地下水の付加価値利用(環境用水・防災用水・CSR等)

地下水・湧水の主な利用目的は、工業・農業・生活用水などの水源である。一方で、親水公園、環境用水など水に親しむ空間の形成や災害時の非常用水の水源として地下水・湧水を利用し、街おこし・地域活性化に取り組む事例がある。

また、地下水の保全活動を市民、行政、企業(CSR)が協力して行うことで、地域の交流・教育の場として地下水が利用されている。

13.1 地下水を水源に — 街おこし

長野県松本市では、松本城周辺の市街地に「水めぐりの井戸」を設置し、観光資源及び災害時の非常用水として整備している。



図 13.1 黄金の水ポスター¹⁷⁾

東京都小金井市では「水湧く(みわく)プロジェクト」(東京都が三鷹市・小金井市と構想)として、商店街に井戸を掘り飲料水として提供したり、商品やメニューに使ったりする事業を展開している¹⁷⁾。共に地下水を水源として、街おこし及び商店街の活性化に取り組んでいる。



写真 13.1 大名町大手門井戸(松本市)

13.2 工場使用後の湧水を水源に — 環境用水

静岡県三島市では、湧水の減少した源兵衛川の復元のため住民・NPO・行政が連携し、「街中がせせらぎ事業」が推進された¹⁸⁾¹⁹⁾。現在は上流の工場で使用した冷却水(元は柿田川湧水)を主な水源とし、流れを復元し環境用水となっている。また、森林の水源涵養機能を高める「森の小さなダムづくり事業」が子供たちと共に実施され、教育の場にもなっている¹⁹⁾。



写真 13.2 三島市源兵衛川¹⁹⁾

13.3 地下水は市民の共有資源 — 地下水保全活動

熊本県熊本市は、近隣自治体と地下水保全協定を結び、地下水を流域全体で管理し、水田涵養事業や地下水涵養林の整備を行っている²⁰⁾。

神奈川県秦野市では、地下水を市民の共有財産と考え、大口利用者である企業と協定を結び、協力金を徴収して保全活動にあてている。また、地下水汚染対策の浄化手法として地下水の人工透析を事業化し、地下水を浄化し再び地下に注水する人工涵養を実施している²¹⁾。

13.4 市と企業が供給協定 — 災害時の水源

三重県鈴鹿市と旭化成ケミカルズは、「災害時における飲料水等の供給に関する協定」を結び、災害時に地域住民や工場、病院などの飲料水を、事業所内の応急給水設備を用いて供給する²²⁾。同様な協定は滋賀県守山市とも締結されている。水源は地下水で、24時間安全・安心な飲料水の供給が可能である。



写真 13.3 災害時給水施設を利用した応急給水の訓練²²⁾

引用・参考文献：17) 江戸東京野菜のまち「小金井」H.P.：[<http://www.edotokyo-yasai.jp/index.html>]

18) 日本地下水学会/井田 徹治：見えない巨大水脈・地下水の科学，2009

19) 三島市役所まちづくり部まちなみ再生課：街中がせせらぎ事業についてパンフレット

20) 国交省 H.P.：平成 21 年度日本の水資源[<http://www.mlitt.go.jp/tochimizushigen/mizsei/hakusyo/index5.html>]

21) 秦野市人工透析の浄化事業：[<http://navi.city.hadano.kanagawa.jp/k-hozen/kankyousidou/index.html>]

22) 旭化成株式会社提供

14. 温暖化と地下水利用

地球温暖化により、地下水の塩水化や地下水涵養の変化といった地下水環境への影響が懸念される。一方で、温暖化の一因である CO₂ 排出量削減のため、地下水の優れた特性を活かした、その有効利用が期待される。特に大都市域での地下水の有効利用は、温暖化対策のための重要な鍵である。

14.1 地球温暖化が地下水環境へ与える影響

地球温暖化は、図 14.1 に示すようにわが国の地下水環境の変化に影響する可能性がある。すなわち、海面上昇に伴う沿岸域地下水の塩水化や、気候変動による地下水涵養への影響である。温暖化によって、わが国の地下水環境への質的、量的な影響が懸念される。

14.2 温暖化緩和に向けた地下水の利用方法

地下水は地盤内にほぼどこにでも存在し、その熱的特性から“身近な熱エネルギー源”といえる。そのため、太陽光などの自然エネルギーと同様に、温暖化緩和のための代替エネルギー的な利用が期待される。一方、温暖化による地下水涵養不順を回避する方策も、地下水利用の観点では大変重要といえる。温暖化に向けた地下水の有効利用方法について、以下に示す。

① ヒートポンプへの利用²³⁾

地下水の恒温性に着目し、ポンプ、熱交換器を用いて地下水熱（地中熱）を回収し、冷暖房高効率化に利用する。

② 環境用水への利用²⁴⁾

湧水や地下漏洩水などの地下水を環境用水（親水用水、散水用水）に利用し、地表面からの蒸発量を促し、都市域のヒートアイランド緩和を図る。

③ 都市緑化への利用²⁵⁾

太陽光によるビルの高温化防止を目的とした屋上・壁面緑化などの新しい都市緑化の水源として、地下水を有効利用する。

④ 雨水や再生水の地下水涵養

雨水や表流水、下水などを適正に浄化処理し、地下水に涵養する。温暖化による地下水涵養不順の回避と共に、災害時の緊急用水源としての利用も図る。

14.3 温暖化緩和に向けた大都市域の地下水有効利用への期待

用水二法を始めとする地下水採取規制や表流水への水源転換により、東京などの大都市域では地下水位が回復している。地下水位の回復に伴い地下構造物への揚圧力の作用や地下水漏洩などの問題が、近年大都市域で顕在化している。地域社会で水位が回復しつつある地下水を流域共有の財産として適正に管理しつつ、前述の利用に供し、温暖化緩和と共に、地下水位上昇、高エネルギー消費、ヒートアイランドなどの都市問題の解決につなげてゆくことが期待される。

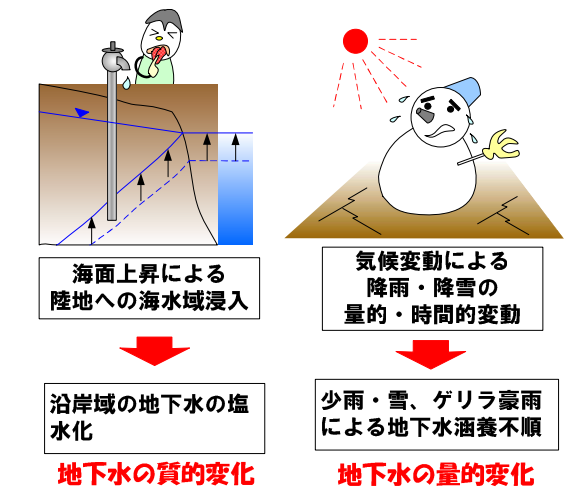


図 14.1 地球温暖化による地下水環境の変化



写真 14.1 都市の屋上緑化
(薄層屋上緑化技術協会の HP より)

引用・参考文献：23) 例えば、環境省水・大気環境局：地中熱ヒートポンプシステムとは？, 平成 19 年 2 月

24) 愛知県環境部：湧水等利用ガイドブック, 平成 17 年 3 月

25) 東京都環境局：緑化計画の手引き, 平成 20 年 9 月

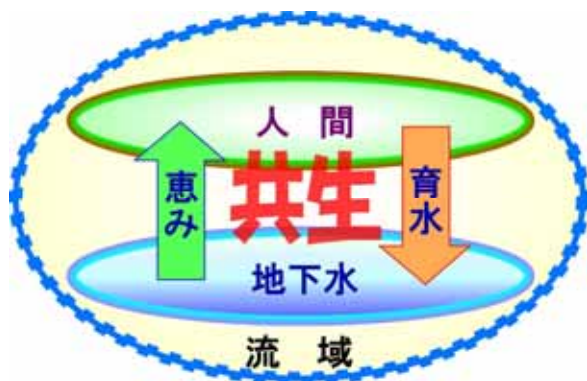
共生型地下水技術活用研究会

(社)全国地質調査業協会連合会

平成 19～21 年度 新マーケット創出・提案型事業

研究会の構成		問合せ先[注]
技術顧問	〔岡山大学〕	大学院環境学研究科：西垣 誠 教授
会員企業	(株)エイト日本技術開発	ジオ・エンジニアリング事業部：木村 隆行 〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町 3-1-21, TEL: 086-252-8914
	応用地質(株)	機器事業本部 技術部 計測技術第1グループ：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)	事業本部 地盤部 北関東グループ：内田 秀樹 〒337-0051 埼玉県さいたま市見沼区東大宮 2-38-7, TEL: 048-652-7451
	基礎地盤コンサルタンツ(株)	企画部：中嶋 幸房 〒136-8577 東京都江東区亀戸 1-5-7 日鐵 ND 7-12 階, TEL: 03-6861-8828
	国土防災技術(株)	事業本部 地盤環境事業部：笠原 洋二 〒330-0074 埼玉県さいたま市浦和区北浦和 2-12-11, TEL: 048-833-0421
	(株)サクセン	調査部 調査課：岡部 和典 〒390-0833 長野県松本市双葉 6-1, TEL: 0263-29-2820
	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)	技術研究所 資源エネルギー事業部：松岡 永憲 〒409-0112 山梨県上野原市上野原 8154-59, TEL: 0554-62-2880
	(株)ダイヤコンサルタント	地圏環境センター：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 地質部：上田 正人 〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5, TEL: 03-3208-5252
	ハイテック(株)	環境水文課：宮田 修志 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 2-11-9, TEL: 06-6396-7571
賛助企業	旭化成ケミカルズ(株)	膜・水処理事業部 水フロンティア推進部：土井 正一 〒524-0002 滋賀県守山市小島町 515, TEL: 077-581-4001
研究会事務局	(株)地域環境研究所	中村 裕昭 〒332-0035 埼玉県川口市西青木 3-4-2, TEL: 048-259-0645

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平成 22 年 3 月 31 日時点の情報で記載した。



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合うために〕

初版発行：平成 22 年 3 月 31 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：同研究会事務局：(株)地域環境研究所

〒332-0035 埼玉県川口市西青木 3-4-2, TEL: 048-259-0645

E-mail: info@ikusui.net

URL: http://www.ikusui.net/

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：共生型地下水適正利用ガイドライン，2010