

# 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

共生型地下水技術活用研究会

上田敏雄(研究会委員, サンコーコンサルタント(株))

瀬古一郎(研究会代表, 中央開発(株))

西垣 誠(研究会技術顧問, 岡山大学大学院)

中村裕昭(研究会事務局, (株)地域環境研究所)

## 1. はじめに

水は人類及び地球上の全ての生物の生存に欠かせない環境要素であり資源であり、水循環を成して存在している。地下水はその水循環の一形態であり、特に我が国では良質な水を身近で簡易に得られる場合が多いので、貴重な水資源の1つとなっている。その一方で、水循環の健全性とその持続可能性(Sustainability)に配慮しないサイトごとの無秩序な地下水利用は、広域地盤沈下に代表される環境影響が懸念されることから、都市域では地下水利用が実質的にできない状況となっている地域が多い。しかも、地下水利用が可能な地域では、民法 207 条の「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。」を抛り所に、地下水が個人の管理の及ばない流動物であるにも関わらず、井戸等取水施設の土地所有者により早い者勝ち的に利用されることが多く、それが水循環悪化の悪循環創出の1つの要因にもなっている可能性がある。

共生型地下水技術活用研究会では、水循環の健全性とその持続可能性を確保しながら地下水を上手に使う、即ち「地下水との共生」方法を、地下水・地盤コンサルタントの立場で検討<sup>1)</sup>を行い、一定の方向性がまとまってきたのでその概要を紹介する。共生型地下水利用の基本的考え方の要点は以下のとおりである。

(1) 地下水は流動系をなして存在し、質・量とも個人では管理できないことから、「地下水は流域の共有財産・共有資源」の認識のもと、流域単位で合意形成が可能な利用配分と質・量を含めた健全な水循環を確保できる範囲内で地下水を利用する。これを「適正利用」と呼ぶ。

(2) 適正利用には地域特性や事業主体の立場・規模によって以下の段階を想定する。この内、とを研究会では特に「育水」と呼び、共生型地下水利用の基本理念としている。

自然の水循環に悪影響を与えない許容範囲内の地下水利用方法[消極的共生]

流域単位での仕組み：地下水利用とバランスのとれた涵養域保全の実施を踏まえた地下水利用方法 [積極的共生と育水]

ローカルサイト内(個別事業ごと)での仕組み：人工涵養を踏まえた地下水利用、もしくは地下水利用後に浄化してきれいな水をリチャージする方法[環境損失を別の形で補填するミティゲーション的な育水]

再生水利用の促進は、取水と還水の最小化[環境負荷低減、健全な水循環確保]

## 2. 地盤沈下は解消できない負の遺産

我が国では明治以降の近代化および戦後復興の過程で、地下水を水資源として大量に消費して、

過剰揚水とそれに伴う大幅な地下水位低下により、公害としての地盤沈下を生じた歴史がある。特に沿岸域では表 - 1 に示すように地盤沈下によって広大な面積のゼロメートル地帯が出現し、高潮洪水脅威に晒されるという国土保全上の深刻な事態に遭遇した。その後、地盤沈下対策として用水二法、条例、要綱等の各種地下水規制が徹底されて、沈下挙動自体は沈静化の傾向にあるが、地盤沈下で創出されたゼロメートル地帯そのものは、解消されることなく、基本的には将来に負の遺産としてそのまま引き継がれていくのである。これを教訓として地下水利用に当たっては絶対に地盤沈下を生じさせない決意が必要である。

図 - 1 に代表的地域の地盤沈下の経年変化を、表 - 2 に図 - 1 から読み取った代表的地域での地盤沈下の概略年平均速度をまとめた。顕著な地盤沈下を生じた地域では年平均 20mm ~ 90mm という地盤沈下が数 10 年間継続していたことがこれらの図表から読み取れる。

表 - 1 全国のゼロメートル地帯の概況(文献 2)より要約)

順位	ゼロメートル地帯が存在する地域	都道府県	面積(km <sup>2</sup> )	全国比(%)	
				面積	割合
1	濃尾平野	愛知県・岐阜県・三重県	395	1,061	34
2	筑後・佐賀平野	佐賀県・福岡県	253		21
3	新潟平野	新潟県	183		16
4	関東平野	東京都・千葉県・神奈川県	134		11
5	大阪平野	大阪府・兵庫県	96		8.1
6	岡崎平野	愛知県	57		4.8
7	豊橋平野	愛知県	27		2.3
8	高知平野	高知県	10		0.8
9	広島平野	広島県	9		0.8
10	九十九里平野	千葉県	8		0.7
	計		1,178km <sup>2</sup>		100%

注：ゼロメートル地帯面積：現在までに沈下が認められた地域の面積の内、朔望平均満潮位以下の地域の面積

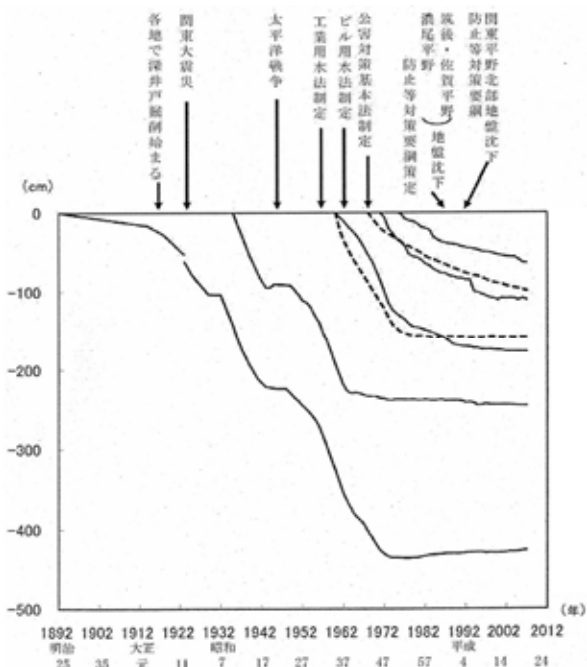


図 - 1 代表的地域の地盤沈下の経年変化<sup>3)</sup>

表 - 2 代表的地域での現在までのもしくは沈静化前までの概略地盤沈下速度

地域	総沈下量	年平均沈下量
南魚沼 (新潟県六日町余川)	0.63m/31年	20mm/年
九十九里平野 (千葉県茂原市南古田)	1.00m/39年	26mm/年
筑後佐賀平野 (佐賀県白石町遠江)	1.10m/29年	38mm/年
濃尾平野 (三重県長島町白鷄)	1.60m/18年	89mm/年
関東平野北部 (埼玉県越谷市弥栄町)	1.73m/42年	41mm/年
大阪平野 (大阪市西淀川区百島)	2.37m/33年	72mm/年
関東平野 (東京都江東区亀戸7丁目)	4.17m/59年	71mm/年

注：表 - 2 の丸数字は図 - 1 に対応

近年、地球温暖化が世界共通の課題として取り上げられ、その中の1つに『海面上昇』問題がある。IPCC 第4次評価報告書<sup>4)</sup>では、地球温暖化に伴って生じる現象を今後の経済発展やエネルギー対

策，技術革新の可能性，環境保全意識等によって4つのシナリオごとに将来予測しているが，海面上昇の数値予測の最小値と最大値を表 - 3 に参考値として記載した。

そもそも海面上昇と沿岸域の地盤沈下は，基準面をお互いのどちらにおくかの相対的現象であり(表 - 3 参照)，防災・環境問題としては同じ土俵で議論すべき課題である。地球温暖化問題は予測の不確実性を伴うが，沿岸域の地盤沈下につながる行為を避けるという点は共通認識とすべきである。年平均速度で見ると，地球温暖化で懸念されている海面上昇(相対的地盤沈下)は，地下水の過剰揚水で生じる地盤沈下の約10分の1というオーダーではあるが，累積した時の脅威には変わりなく，しかも地下水規制に代わるような効果的な対策は見当たらず，この点からも特に沿岸域の地盤沈下は絶対に起こしてはならない。

表 - 3 過剰揚水に起因した広域地盤沈下と地球温暖化に伴う海面上昇の対比

現象	視点(基準面)を替えてみると?		現象のオーダー
地盤沈下 相対的 概念 海面上昇	地盤面を基準に見ると	相対的海面上昇 [見掛けの海面上昇]	20～100mm/年[表 - 2 参照] 0.6～4.4m/max(20～60年)
	平均海面を基準に見ると	相対的地盤沈下 [見掛けの地盤沈下]	2～6mm/年[IPCC 第4次] <sup>4)</sup> 0.2～0.6m/100年

### 3. 水循環における健全性の考え方

平成10年に『健全な水循環の確保』の基本的考え方が当時の環境庁から懇談会報告<sup>5)</sup>の形で，また平成15年には関係省庁連絡会議から『健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて』<sup>6)</sup>が公表され，『健全な水循環の確保』の考え方は今では全国自治体の水環境行政の基本となり，この言葉自体は広く普及した感がある。ところが，ここで言う『水循環』と『健全』という言葉は，分かり易いようでいて，実際にはなかなか難しい概念であり，人によって捉え方が異なる可能性もある。

そこで当研究会では，共生型の地下水適正利用における健全性を，図 - 2 に示す自然界の水循環と人為的な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，の問題として考える。

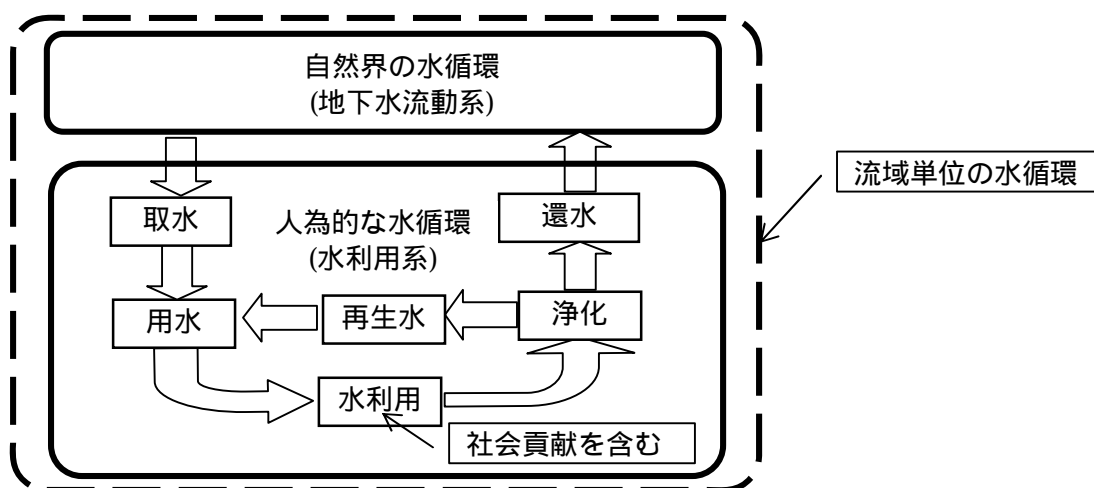


図 - 2 自然界の水循環と人為的な水循環との関係

その取水と還水によって，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

を、健全性評価の基本として考え、その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)を維持する方策を前提に、適正利用方法を考える。

#### 4. 地下水は誰のものか

冒頭でも述べたが、我が国では古典的に、民法 207 条(表 - 4 参照)を根拠に、土地所有者は自分の所有する土地に設置した井戸から揚水した地下水は自由に使える、もしくはただで使える、という考え方が残っている。しかし、前述の通り、過去に無秩序な地下水利用で地盤沈下ならびにゼロメートル地帯創出という苦い経験があり、また地下水が水循環の一環の地下水流動系として存在することも、周知の事実となっている。表 - 4 に示すように、民法では第 207 条の規定の前提として、第 1 条の基本原則に、『私権は公共の福祉に適合しなければならない、権利の行使は信義に従い誠実に行わなければならない、権利の濫用は許さない』と書かれていることにも留意しなければならない。

一方、地下水が個人の所有物に該当するかを、表 - 5 に示すように、物体としての唯一性、社会ルール(合意形成)、管理の実効性、の観点で考えてみると、個人所有物とするにはかなりの無理が感じられる。

表 - 4 民法【明治 29 年[1896 年]制定】における私権に関する規定

民法の該当ヶ所	法文の内容
(基本原則) 第 1 条	私権は、公共の福祉に適合しなければならない。 2 権利の行使及び義務の履行は、信義に従い誠実に行わなければならない。 3 権利の濫用は、これを許さない。
(土地所有権の範囲) 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。

表 - 5 個人所有物の要件とそれに対応する着目点での地下水の特徴

着目点	個人所有物の要件	地下水の特徴
物体としての唯一性	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。	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
合意形成 社会ルール	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。	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
管理責任 管理の実効性	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。	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

例えば、自分の土地の地下にきれいな地下水が流れている場合、その地下水の質と量等は、流域の多くの人達の保全・管理の努力の結果と考えなければならない。また相応の経費もかかっていると考えるべきである。地下水は決してただで利用できる資源ではない。現在ただで利用できる環境にあるのは、単に我が国の地下水に関する法整備を含めた仕組みの構築が遅れているためと考えられる。但し、この水循環の健全性とその持続可能性確保の対策は、森林保全、水源涵養林保全、土砂流出防止、総合治水、CO<sub>2</sub> 対策、等々を含め、多目的かつ総合的に実施するものなので、しかもこれらは流域ごとに事情が異なるので、包括的な仕組み構築上の課題は多く、地下水利用コストにも一義的にはなかなか結び付かない。これらを踏まえ、研究会では『地下水は流域の共有財産・共有資源』の認識のもと、流域で合意形成可能な地下水利用の仕組み構築が必要と考えている。実際、最近では我が国の多くの自治体が『地下水は有限な共有資源』を前提とした地下水行政を展開し始めている。

### 5. 『育水』の提唱

当研究会では共生型地下水適正利用に欠かせない基本概念に『育水(いくすい) : water fostering』を推奨し、地下水の恵みを享受する地下水利用者の責務と位置付けている。

『育水』とは、以下に列記する内容の包括的概念である。

地下水の恩恵(各種環境機能と水資源)を享受する人間が、水循環を踏まえた地下水の質と量の保全や管理だけではなく、地下水の涵養に積極的に関与し促進させ、地下水汚染を起こさない社会システムを構築する等々の“地下水を育む”活動

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や思想なども含めて、地下水と人間が将来にわたって共生し、水循環の健全性を確保し水循環のサステナビリティを維持して行くのに必要な基本理念

即ち『育水』には質と量の他に地下水への理解を踏まえたソフト的な側面があり、特にソフト的な側面を重視した概念である。類似の用語として『水育(みずいく)』や『創水(そうすい)』があるが、基本的には同じ意味と考えられる。『人工涵養』『注水』『復水』『地下水還元』等の用語もあるが、これらの行為は育水実現の技術の一部には該当するが、用語自体の意味はかなり限定的である。

### 6. 地下水適正利用

地下水を無秩序に勝手に使うには問題が多いが、地下水は多くの優れた特徴を有している人間にとっての恵みである。

『過去に地盤沈下の原因になったから地下水は利用してはいけない。』と決めつけず、地盤沈下を起こさない地下水利用方法を考えるべきである。それには前述した『育水』が1つのポイントと考えている。人間は地下水を育水した上で、地下水の恵みを享受する。それが研究会の考える共生型の地下水適正利用である。

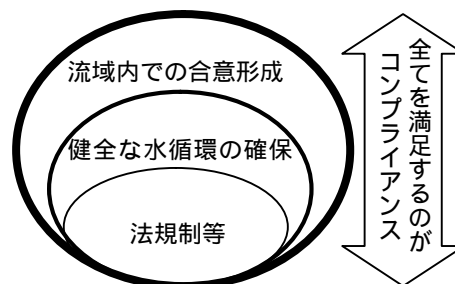


図 - 3 地下水利用のコンプライアンス

この枠組は図 - 3 に示すような『地下水利用のコンプライアンス』によって支えられている。先にも『地下水は決してただではない』の所でも述べたが、残念ながら我が国は地下水について法的整備が未成熟である。だからこそ、この『地下水利用のコンプライアンス』の枠組が重要と考える。

次に研究会の考える共生型地下水適正利用のイメージを表 - 6 に示す。

表 - 6 共生型地下水適正利用パターン

目的	範囲	環境思想区分		パターン	水収支	涵養	取水	還元
		涵養域 保全型	環境配慮					
健全な水循環を踏まえた共生型地下水利用	流域単位	涵養域 保全型	環境配慮		涵養 最大化型	[A]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
	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	[B]上流域で 人工涵養	特定サイト で取水	既往 システム
					取水還元 相殺型		特定サイト で取水	[C]近傍 浄化還元
		再生水利用			取水還元 最小化型		[D]取水還元最小化	

注.1: 還元とは、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。

(1) パターン は、環境思想区分としては涵養域保全型かつ環境配慮型に区分し、主に流域単位全体で講じる施策の考え方である。涵養域・流動域・流出域からなる広域地下水流動系の涵養域を重点的に保全・涵養促進して、増加流動量分もしくは水循環の健全性を損なわない範囲、かつ流域内での合意形成による地下水利用配分ルールのもとで、地下水の適正利用を図ろうというものである。この利用パターンは既に複数の自治体で実施されている。

(2) パターン は、環境思想区分としては環境負荷低減型かつ水環境ミティゲーションに区分し、主に個別の事業単位で講じる施策の考え方である。地下水利用のために取水する分を事前に上流側で人工涵養しておき、結果として水循環の水収支上、地下水採取による環境負荷を相殺(ミティゲーション)しようという考え方である。この利用パターンも最近散見されるようになった。但し、ここで人工涵養と取水が物理的に1対1に対応するとは限らないことに留意し、水循環の健全性への影響は別途流域単位で検討しなければならない。また想定通りの機能を果たせるかモニタリングで監視・検証していく必要がある。図 - 4 にパターン のイメージ図を示す。

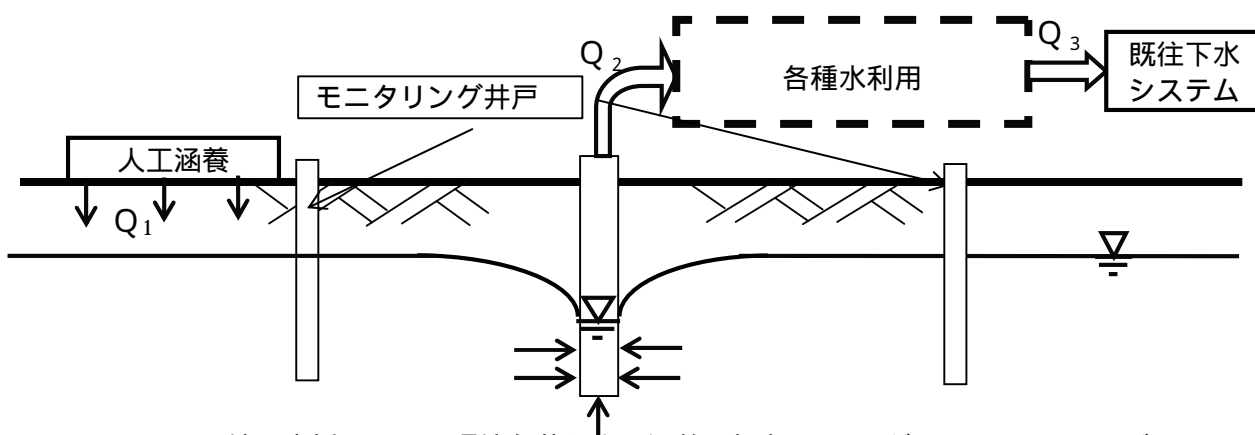


図 - 4 地下水採取による環境負荷を人工涵養で相殺(ミティゲーション)イメージ図

なお、このパターン の人工涵養を踏まえた地下水利用方法は、地下水利用サイトに対する利用水量の担保というミティゲーション的な考え方だけでなく、流域の上流と下流という連続した地下水流動系としての位置関係を利用できる地域特性の場合、地盤を浄化機能と恒温化機能を有した配管路もしくは貯留槽(地下ダム)として活用するという形態への応用方法も考えられる。

(3) パターン は、パターン 同様に環境思想区分としては環境負荷低減型かつ水環境ミティゲーションに区分し、主に個別の事業単位で講じる施策の考え方である。パターン が、地下水利用のために取水する分を事前に上流側で人工涵養したのに対して、パターン は、地下水利用のために取水した分を事後に下流側で地下に環元して、結果として水循環の水収支上、地下水採取による環境負荷を相殺(ミティゲーション)しようという考え方である。このシステムは還水する際、浄化してきれいな水を地下に戻すことを基本に考えている。このことで地下水自体の浄化が進むことも期待できる。また、雨水貯留・雨水利用・雨水浸透や利用後の水を再生利用するオプションとの併用も考えられる。なお、還水については、サイトごとに各種制約(例えばどの地層に戻すか、所定の水量を戻せるか、目詰まりの維持管理は可能か、水位上昇や水質・水温変化が環境防災上の悪影響を及ぼさないか、等々)が想定され、サイトごとに慎重な検討が必要となる。これらの検討結果を踏まえ、パターン 同様にパ

ターン においても，取水と還水が物理的に1対1で対応するとは限らないことに留意して，水循環の健全性への影響は別途流域単位で検討しなければならないし，想定通りの機能を果たせるかモニタリングで監視・検証していく必要がある。

(4) パターン は，環境思想区分としては再生水利用による環境負荷低減型に区分できるが，システムの基本はパターン と同様で，パターン の進化型である。パターン のオプションで示した再生水利用の量を増加させ，結果として取水量を最小化しようというものである。また，雨水貯留・雨水利用・雨水浸透のオプションとの併用も考えられる。水量に着目すれば自然界の水循環からの水収支上の地下水利用量『=環境負荷量』は，『取水量 - 還水量』で定義されるので，このパターン は環境に優しい地下水利用方法の代表的な方法の1つと言える。図 - 5 にパターン と のイメージ図を示す。図 - 5 では浄化装置として膜ろ過技術を想定している。これによって装置のコンパクト化を期待している。パターン においても，還元に関する各種制約事項の検討はパターン と同様にサイトごとに実施しなければならない。

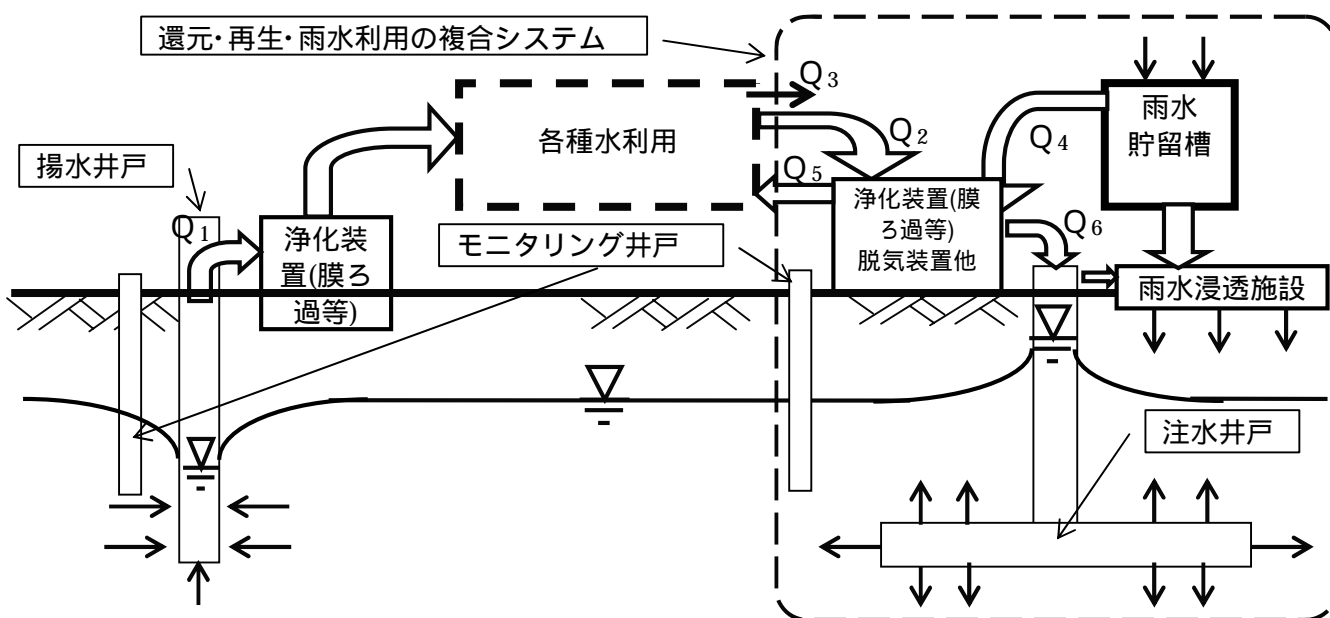


図 - 5 環境負荷低減型地下水利用システムイメージ図

現在，都市部で普及した用排水システムは，取水・貯留・浄化に関する集中大型システムと配水・集水に関するネットワークシステムの組み合わせが主流である。これらは近代化の一翼を担い，都市と産業の発展に一定の役割を果たしてきたが，阪神大震災に代表されるような大規模災害によって機能停止に追い込まれる弱点があることも露呈し，災害時の給水システムの確保が課題となっている。また，これらの多くの施設が更新期を目前としており，少子高齢化の社会環境下において同じ規模の施設更新が必要か，優先順位を付けた財政負担の少ない部分的投資が可能なシステムの導入も期待されている。パターン と は，分散型地下水利用システムの典型であり，上記，防災時給水システムや大規模集中ネットワーク型社会資本の更新が難しい場合の代替システムとしての役割も期待できる。

## 7. おわりに

研究会では、地下水は人間に与えられた恵みであり、地下水利用のコンプライアンス(図 - 3 参照)を守れば大いに利用できる資源と考えている。即ち、人間と地下水の共生であり、言い方を変えれば『地下水と上手に付き合おう』ということである。研究会で得た共生型地下水適正利用の知見を以下に列記する。

- 1) 過剰揚水に伴う地盤沈下で出現したゼロメートル地帯は解消できない負の遺産である。地下水利用は地盤沈下を絶対に起こさないことを大前提としなければならない。
- 2) 地下水は流域の共有財産・共有資源の認識のもと、流域で合意形成可能な方法で利用しなければならない。
- 3) 地下水は決してただではないことを前提に、地下水利用計画を立てなければいけない。
- 4) 人間は地下水の恵みと、質と量の他に地下水への理解を踏まえたソフト面も含め3つの側面からの『育水』を実行することで、共生することができる。
- 5) 『育水』を踏まえた共生型地下水適正利用方法を4つのパターンに整理(表 - 6 参照)した。この内、パターン と の利用した地下水を地下へ戻す、もしくは再生利用することを前提とした環境負荷低減型の地下水利用方法を今回新たに研究会として提案する。

なお、共生型地下水技術活用研究会は、平成 19 年度および平成 21 年度の(社)全国地質調査業協会連合会新マーケット創出・提案型事業に採択され、現在、その事業のもと研究会活動を行っている。

また、本報告に収録した内容は、共生型地下水技術活用研究会での検討内容の要約であり、本来は研究会メンバー全員の名前を列記すべきであるが、紙面の制約で便宜的に4名の連名とし、研究会参加企業名のみ欄外に記載した。

### 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) 環境省 水・大気環境局編：平成 19 年度全国の地盤沈下地域の概況，H20.11.，pp.17～26
- 3) 環境省 水・大気環境局編：平成 19 年度全国の地盤沈下地域の概況，H20.11.，p.29
- 4) 翻訳[文部科学省・経済産業省・環境省・気象庁]：気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書 - 政策決定者向け要約 - ，2007
- 5) 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 - ，環境省水質保全局企画課地下水地盤環境室発行，1998.1.
- 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，2003.10.

共生型地下水技術活用研究会会員企業(五十音順)：(株)エイト日本技術開発，応用地質(株)，川崎地質(株)，基礎地盤コンサルタンツ(株)，国土防災技術(株)，(株)サクセン，サンコーコンサルタント(株)，大成基礎設計(株)，(株)ダイヤコンサルタント，中央開発(株)，ハイテック(株)，同賛助企業：旭化成ケミカルズ(株)