



地下水開発を効果的に行うためには、水源候補地をどのように選定したらよいですか？



地下水は地層の間隙や亀裂などの空間に存在し、その中でも透水性の高い部分を、より多く流れています。この地下水の流れが多いところに井戸を設置すると、効率的な地下水開発が行えます。

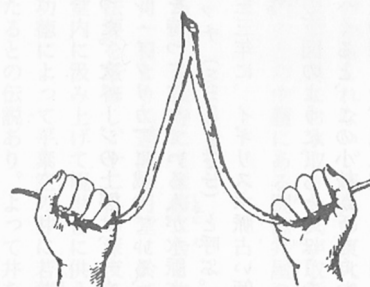
文献調査、現地調査および物理探査などを実施して、河川沿いや旧河道などの透水性の高い礫層や断層や地すべりなどによって形成された開口亀裂の多い岩盤領域を把握し、必要規模に応じた水源候補地を選定することが有効です。また、利用目的に応じた水質分析を実施し、確保できた地下水が利用できるか判断することも重要です。

### (1) 地下水探査の歴史

地下水探査の古い記述としては、紀元前の旧約聖書に、エジプトで「神がモーゼをして岩を叩かせ、水を湧き出させた」という「フェイランのオアシス」というものがあります<sup>1)</sup>。一方日本では、平安時代初期の高僧、弘法大師空海が、杖で地下水がある場所を指し示し、愛媛県松山市の杖の淵や埼玉県所沢市の三ツ井戸など、水不足に悩まされた瀬戸内海地域を中心に全国で1,300箇所以上もあり、弘法清水とも呼ばれています。これらは伝説の域かもしれませんが、16世紀の有名な教科書であるアグリコラの「デ・レ・メタリカ」に、二股の木の枝で水脈占いをした記録も残っています(図-1)<sup>2)</sup>。また、L字形の金属棒をもって歩き、棒の動きによって地下水脈を探す「ダウジング」という手法も現れ、地下水探査の始まりと言えるかもしれません。その後、1920年代の日本では地下水調査への電気探査の導入が進み、科学的な地下水探査が始まりました<sup>3)</sup>。更に、1970年代のコンピュータ技術とそれを利用したシミュレーション技術の進歩、様々な物理探査の進展に伴い、複雑な地下構造を精度よく表現することが可能となり、現在では、物理探査を利用した地下水探査のスタイルがほぼ確立されています。



「デ・レ・メタリカ」の挿し絵



「古い棒・水脈占いの歴史」の挿し絵

図-1 水脈占いの状況と使用した木の枝の挿絵<sup>2)</sup>

## (2) 地下水の存在形態

地下水の存在形態は、土粒子の間隙に存在する土中水と岩盤の割れ目の中に存在する裂隙水(れっかすい)水に大別されます(図-2)<sup>4)</sup>。間隙や割れ目がつながると地下水は移動し、「高いところ(上流)から低いところ(下流)」へ重力にしたがって流れます。この流れは土地標高の高低だけでなく、地下水ポテンシャル(水圧と高さなどのエネルギーの総和)の高低に左右されます。不圧帯水層で井戸を掘ると地下水面と井戸水面が同じになりますが、被圧帯水層では帯水層より地下水面が高くなり、場所によっては自噴水となり地表へ現れることもあります。この様に、地下水が多く流れる位置に井戸を設置すると、効率的な地下水の汲み上げが可能となります。

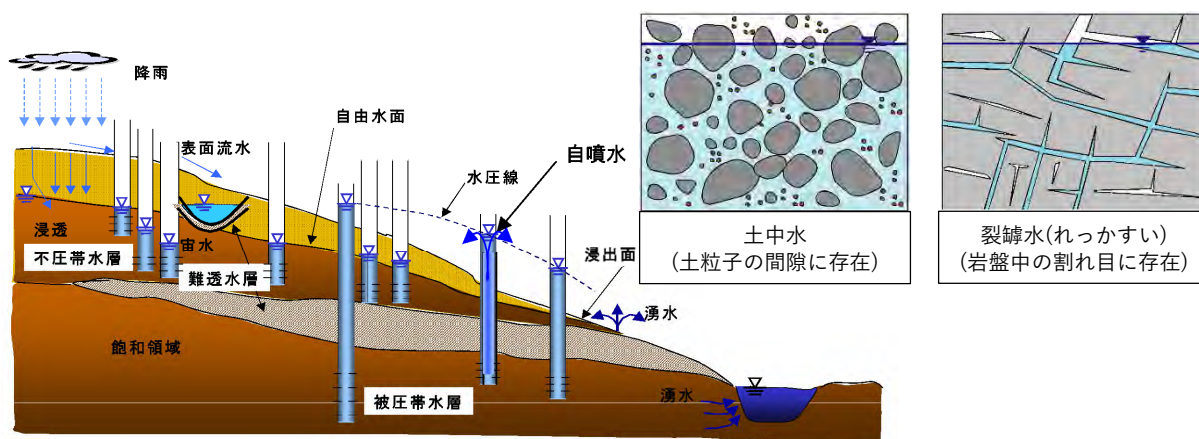


図-2 地下水の存在形態と帯水層などの分類<sup>4)</sup>

## (3) 地形による地下水の特性

一般に低地は、厚い未固結堆積物により構成される堆積低地(D)と、薄い未固結堆積物と岩盤より構成される侵食低地(E)に区分されます(図-3)<sup>5)</sup>。一般に、表層地下水(土中水)は堆積低地(図-3のD)が豊富で、侵食低地では堆積物の基底部にのみ存在する程度で地下水は少量です。また、段丘は低地に比べ地下水流量が少なく、流速が速いことから、一度枯渇すると復元に時間がかかり、安定な水源地とならないことが多いです。

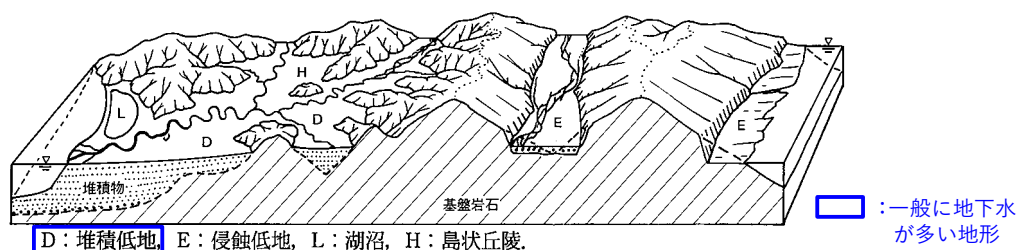


図-3 堆積低地と侵食低地の模式図<sup>5)</sup>に加筆

河成堆積低地は、河川の運搬・堆積作用によって形成された地形で一般に地下水が多く存在し、谷底堆積低地(Vf)(谷底平野)、扇状地(F)の扇端部、現河川沿いおよび旧河道等がこれに相当します(図-4)。これらの地形は、礫や粗・中粒の砂などの粗粒分で構成され、一般に透水性が高い地層です。なお、海に近づくほど地下水面は浅く水量も多くなりますが、蛇行原(M)や三角州(D)などは、短時間での汲み上げが難しいこと、過剰揚水によ

る塩水化問題等も懸念されます。この様に地形を見分けるためには地形判読をする必要がありますが、一般公開されている国土地理院の土地条件図<sup>6)</sup>や産業技術総合研究所の水文環境図および全国水文環境データベース<sup>7)</sup>を参考にすると、効率的な情報収集が可能です。

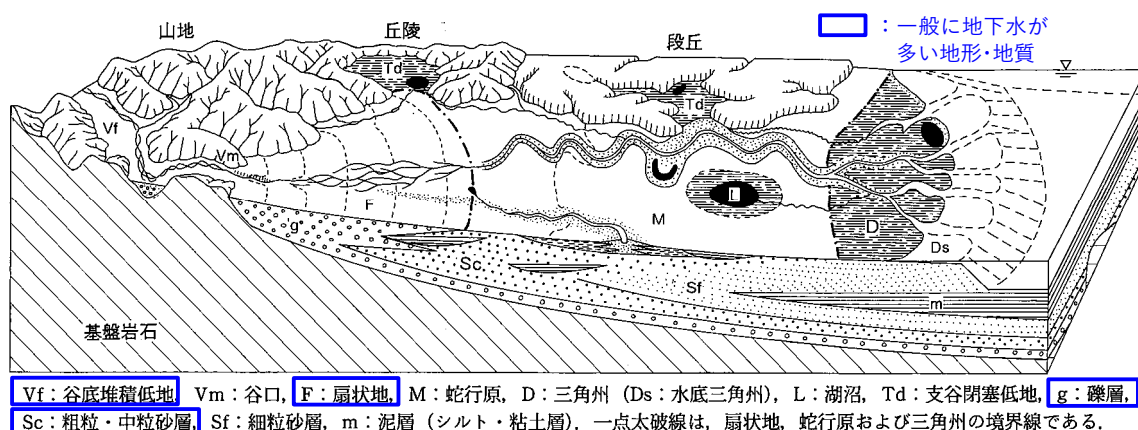


図-4 5種の河成複式堆積低地の模式図<sup>5)</sup>に加筆

#### (4) 地下水開発における文献調査と現地調査

文献調査と現地調査によって、水理地質構造、地下水の流れや供給源、地下水や地表水の季節変動および地下水利用状況等を把握し、対象範囲の地下水特性を推定します。その中で、集水地形、地下水面が浅い、地下水量が多いなどの地下水を効率的に集めることができる地点を選定することになります。主なデータ・調査の種類、整理・解析内容は表-1の通りです<sup>8)</sup>。

表-1 文献調査・現地調査のデータの収集・解析内容<sup>8)</sup>を一部改変

項目	データ・調査の種類	整理・解析内容
水文関連	気象データ：気温・降水量・蒸発量など 水文データ：河川流量・水質・流出量解析など	地下水盆への涵養量の推定
水文地質関連	地形・地質：地形図・地質図・水文地質図・空中写真・衛星画像・物理探査結果など	水文地質構造解析（予察的水文地質図など）
地下水関連	既設井戸分布図・井戸台帳・揚水量・井戸試掘・揚水試験結果・地下水位観測記録（長期・一斉）・地下水年代測定結果など	帯水層の性状・水文地質断面図・地下水貯留量・地下水涵養機構・水収支
現地調査関連	地表地質踏査・流量観測・地下水位観測・水質分析など	水理地質構造・地下水の流動特性・取水条件など

#### (5) 地下水開発における物理探査

地下水開発でよく用いられる物理探査は、電気探査、電磁探査および放射能探査です（図-5）。一般に浅い地下水を対象とする探査が電気探査、深い地下水が電磁探査や放射能探査です。

電気探査は地盤の電氣的性質を測定して地盤性状を把握する手法で、得られた比抵抗分



布状況を解析して、帯水層の分布状況や地下水賦存構造を推定することが可能です。

電磁探査は、電気探査と同様に地層を構成する物質の比抵抗の違いに着目して、地下構造や地下水の状態などを調査する手法です。電気探査が地盤に直接電流を流すのに対し、電磁探査は地盤に入射する電磁波の電磁誘導現象を利用します。

放射能探査は、岩石鉱物中に含まれる放射性同位元素から放出される $\gamma$ 線の強度やエネルギーを測定する手法で、岩盤の亀裂を通じて移動する $\gamma$ 線強度の高い地点に、地下水が移動する空間が存在することに着目します。

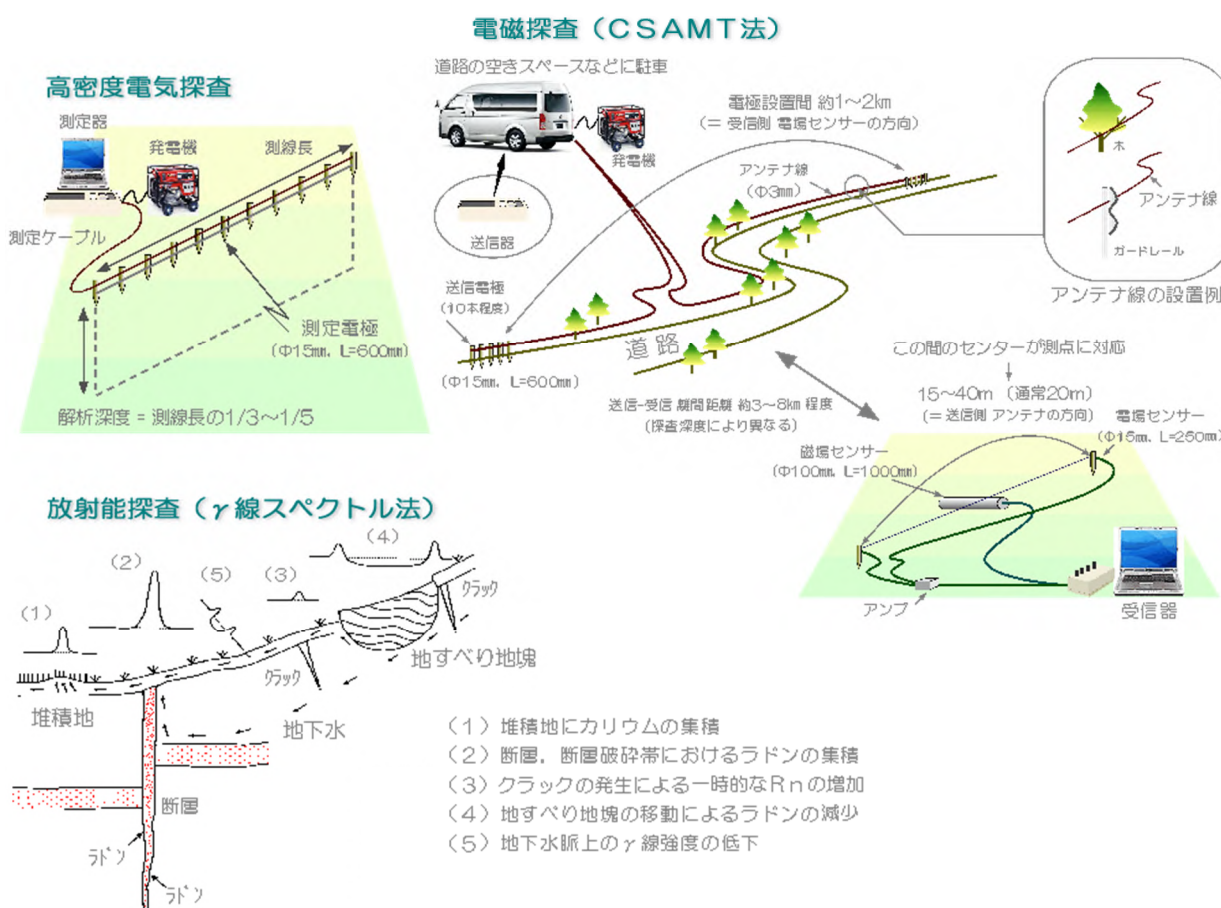


図-5 地下水開発に向けた物理探査の概要<sup>9)</sup>

### (6) 深い地下水の物理探査による水源調査実施例

はじめに、電磁探査 (CSAMT 法) により広域かつ地下深部まで探査し、ほどよい比抵抗 (例えば 100~300 Ωm 程度、地盤条件により異なる) を示す亀裂が多く硬すぎない地下水貯留域と推定される範囲を絞り込みます。次に、高密度電気探査によってほどよい比抵抗かつ比抵抗変化率の大きな範囲を放射能探査によって、 $\gamma$ 線強度比変動が急激に変化する範囲を、地下水貯留域として特定します (図-6)。この様に、地下水を集めやすい地形・地質条件や岩盤開口亀裂の連続性なども考慮して、水源開発の適否、位置や深度を判断します。

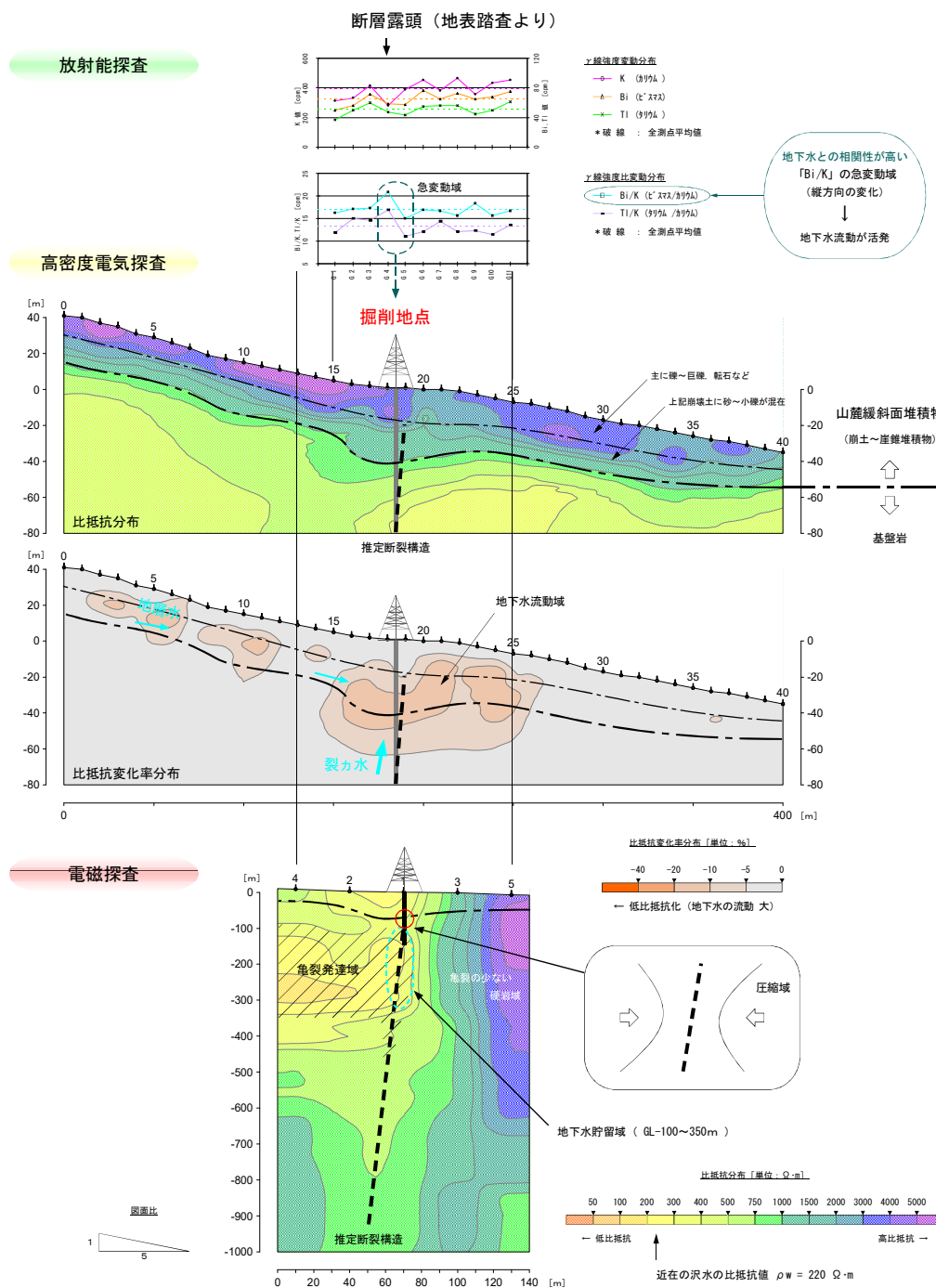


図-6 物理探査による水源調査の実施例<sup>9)</sup>

### (7) 水質検査の実施

地下水源開発で井戸を掘削した場合、地下水を確保できても水質基準を満たさなければ利用できないこともあります。浅い地下水では、名水百選のようないい地下水もあれば、塩水化や重金属などの地下水汚染がある場合もあります。また、深い地下水でも高濃度のヒ素や飲用不可の温泉水など、水質の問題で利用不可となることもあります。したがって、試掘井戸などで地下水を得た際には、以下のような利用目的に応じた水質分析を行い、基準に適合するか否かを確認する必要があります。その際、地下水の水量が通年で大きく変化する場合などは、季節的な水質変化も懸念されるため、水質の季節変化も把握しておく必要があります。

- ① 上水道：水道水質基準；厚生労働省
- ② 農業用水：農業（水稻）用水基準；農林水産省
- ③ 公衆浴場用水：公衆浴場における水質基準；厚生労働省
- ④ 温泉水：温泉利用基準（飲用利用基準）；環境省
- ⑤ その他：水質汚濁に関する環境基準；環境省 など

## （８）まとめ

地下水源開発を進めるためには、利用目的や必要揚水量および利用計画などを立案し、それに該当する規模の地下水が揚水できる地点を選定することとなります。少ない水量であれば物理探査を行わず、文献調査や現地調査等で位置を決めることも可能です。しかし、水量が多くなると物理探査を実施して、規模の大きな地下水の流れを推定する精度を高め、入手できるデータを増やし、かつ地形発達史や水理地質構造も含めた総合的な評価が重要です。また、水量が多い場合は、井戸を掘削する機械や取水設備も大規模となり、位置選定に際して搬入路や掘削・取水スペースの確保も条件に追加されます。いずれにしても、地下水開発地点の周辺で既に地下水利用がある場合には、それらへの影響を十分考慮する必要があります。水循環基本法<sup>10)</sup>にも配慮した持続可能な地下水利用が求められています。

## 【参考文献】

- 1) 井田徹治：見えない巨大水脈 地下水の科学，講談社，ブルーバックス B-1639，2009，pp.132-136，pp.151-153.
- 2) 榎根 勇：地下水と地形の科学 水文学入門，講談社学術文庫，2013，pp.35-37.
- 3) 島 裕雅・梶間和彦・神谷英樹：建設・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗影像法，古今書院，1995，pp.5-8.
- 4) 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，2007，9p.
- 5) 鈴木隆介 著：建設技術者のための地形図読図入門 第2巻 低地，古今書院，1998，pp.206-207，pp.295-297.
- 6) 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web） 数値地図 25000(土地条件)，<https://maps.gsi.go.jp/>，2018年6月15日閲覧
- 7) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：水文環境図および全国水文環境データベース，[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2019/pr20190531/pr20190531.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190531/pr20190531.html)，2020年5月28日閲覧
- 8) 武田裕幸・今村遼平：応用地学ノート，共立出版，1996，pp.28-29
- 9) 候補地点抽出，<http://www5f.biglobe.ne.jp/~jcr/index5.htm>，2020年6月16日.
- 10) 株式会社 ジェイ・シー・アール：探査概要と水源閲覧
- 11) 内閣官房水循環政策本部事務局：水循環基本法，[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu\\_junkan/about/basic\\_law.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizu_junkan/about/basic_law.html)，2020年9月23日閲覧

（回答者 宮地 修一）