

農業地域における持続的な 地下水利用の手引き

～ 地下水観測のススメ ～



平成30年4月

農林水産省 農村振興局
農村政策部 農村環境課

はじめに

地下水は一般に水温や水質が良好であり、井戸などの小規模な施設から容易に取水できるとも便利な水源である一方、地下にあるため、河川水などに比べて、水量や水質を容易に確認することができません。そのため、井戸が枯れる、あるいは、海水により地下水が塩水化して、初めて地下水を使いすぎたことを知る場合が少なくありません。

地下水にこのような問題が起きると、元に戻るまで多大な時間を要しますが、事前に兆候を察知し、適切に対応することにより、問題発生を防ぐことができます。そのためには、まず、井戸の地下水位と、地下水の使用量を把握することが必要です。日々の農作業の中で、地下水位と地下水の使用量は、容易に測定することができ、測定したデータがあれば、地下水に問題が生じているかどうかを判断することができます。

本手引きは、地下水を農業用水として持続的に利用するために、地下水の状況を確認する具体的な方法をとりとまとめたものです。本手引きが、農業に従事される皆様の地下水利用の一助となれば幸いです。

平成 30 年 4 月

農林水産省 農村振興局
農村政策部 農村環境課

目 次

第1章 農業地域の地下水

1. 地下水はどこから来るのか? 1
2. 地下水の使いすぎに注意 3
3. 地下水を使いすぎないために 5

第2章 地下水の観測方法

1. 地下水位の測定 8
2. 地下水の使用量の測定 14

第3章 観測結果から分かること

1. 測定データの整理 21
2. 井戸枯れが生じる恐れ判断と対応方法 23
3. 長期的な井戸枯れの危険性判断と対応方法 24
4. 地下水の持続的な利用を地域全体で取り組むために 25

- (1) 巻末資料
- (2) 用語解説
- (3) 様式例

《 要 約 》

農業地域における持続的な地下水利用の手引き

第1章 農業地域の地下水

農業地域では、河川水とともに、地下水は重要な水源となっています。しかし、地下水を使いすぎて井戸枯れ等の問題が発生すると、農作物の生産に重大な影響を及ぼします。

地下水の使いすぎを防ぐには、①井戸の地下水位と、②地下水の使用量を把握することが必要です。



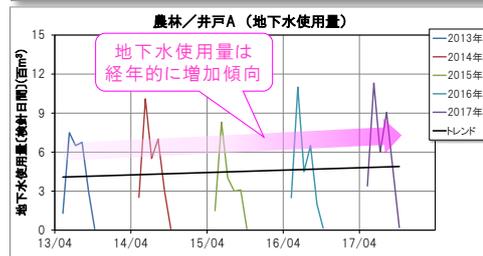
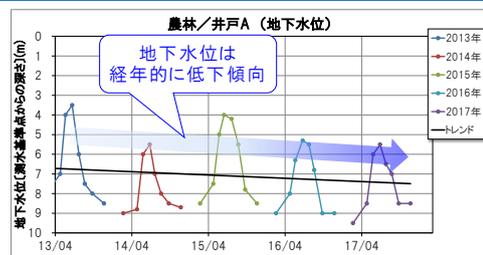
第2章 地下水の観測方法

地下水	<h4>地下水位の測定</h4> <p>普段、地下水を使っている井戸で、手測（てばかり）式水位計を用い、地下水位を測定します。測定は週～月に1回程度ですが、井戸枯れが生じる恐れがある場合は、こまめな測定をお勧めします。</p>		
	<h4>量水器による測定</h4> <p>地下水を汲み上げるポンプに量水器がある場合は、カウンターの積算流量を読み取って、地下水の使用量を測定します。</p>	<h4>電力使用量等に基づく推計</h4> <p>ポンプの基本性能と電力使用量から推計することもできます。基本性能（吐出量、出力）の代わりに、1 kWhあたりの揚水量を測定すると、推計の精度はよくなります。</p>	

第3章 観測結果から分かること

井戸の中の地下水位からポンプの吸込口までの深さ（水深）が浅いと、「井戸枯れが生じる恐れがあるので、地下水の使いすぎに注意が必要」です。また、地下水位の低下と地下水使用量の増加が毎年続くようであれば、「**長期的な井戸枯れの危険性が高まっているので、これ以上、地下水位が下がらないよう、地下水使用量を減らすことが必要**」です。

測定値と測定日時（期間）は、将来に渡って貴重なデータとなります。表やグラフ（右図）に整理し、蓄積しましょう。



第 1 章

農業地域の地下水



1. 地下水はどこから来るのか？

地下水は、雨が地下にしみ込み、地層の中を流れる水です。地層を形作る土の隙間はとても狭いため、地下水はゆっくりと流れます。

【解説】

1.1 地下水の源

水は、空から陸へ、陸から海へ、そして海から空へと、とても広い空間を循環しています。陸域の地下には、砂や礫、粘土などの土が、面的に広がって分布しており、これを**地層**と言います。地層の浅いところは柔らかく、深いところは硬く締まっています。さらに深くなると、岩盤となっています。

その中で、雨や水田の水、川の水などが地下にしみ込み、**地層の中を流れる水のことを地下水**と言います。水田の水も、川の水も、元は雨ですので、**地下水の源は“雨”**ということになります。

地層を形作る土の隙間はとても狭いため、地下水は、速い場合でも1日100m程度、遅い場合では1日1cmにもならない速さで、ゆっくり流れています。

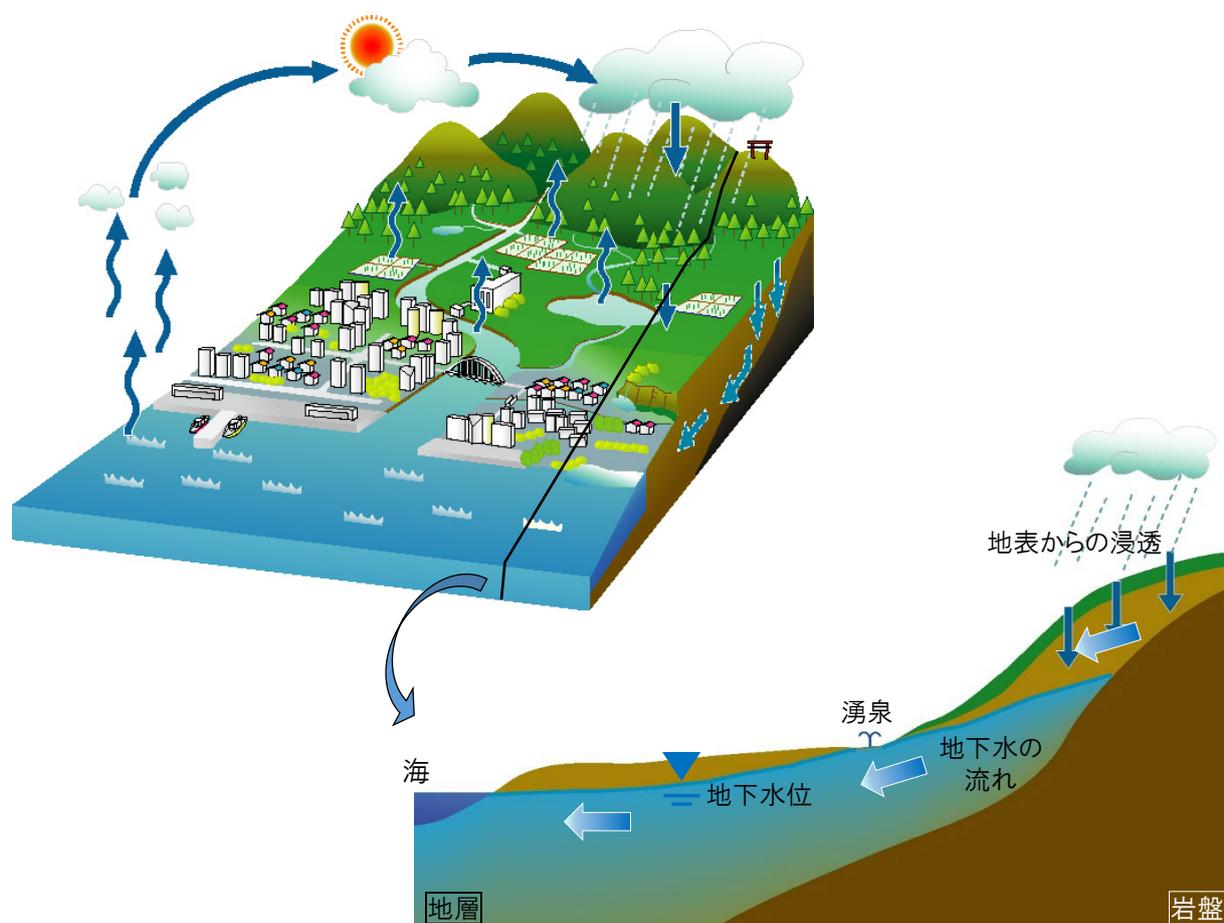


図1-1 地下水の源と地層の中を流れる地下水

1.2 農業地域の地下水

農業地域では、雨のほか、河川や井戸で汲み上げた水が、用水路などを通じて水田や畑などの農地に供給されます。農地から地下にしみ込んだ水は、地下水となります。

地下水は、概ね地形に沿って、主に砂や礫などの土からなる地層の中を流れます。流れの途中で、井戸から汲み上げられた地下水は、再び、かんがい水として農地に供給されます。

水が、空と陸と海を循環していることは既に述べたとおりですが、その中で、農地、特に水田は、“**表流水の貯留**”と、“**地下水の涵養**”という重要な機能を担っています。

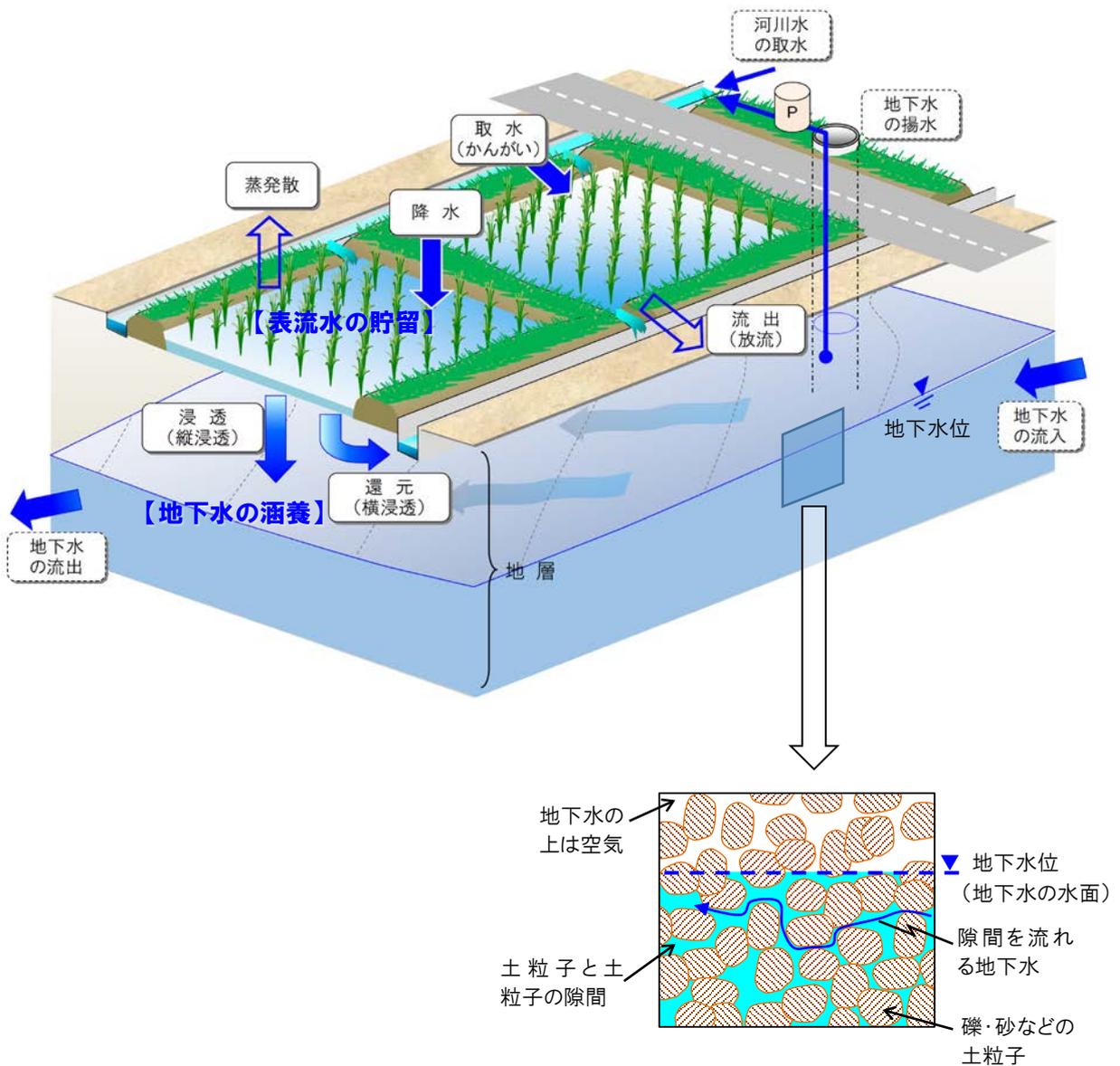


図1-2 水田をめぐる水の循環

2. 地下水の使いすぎに注意

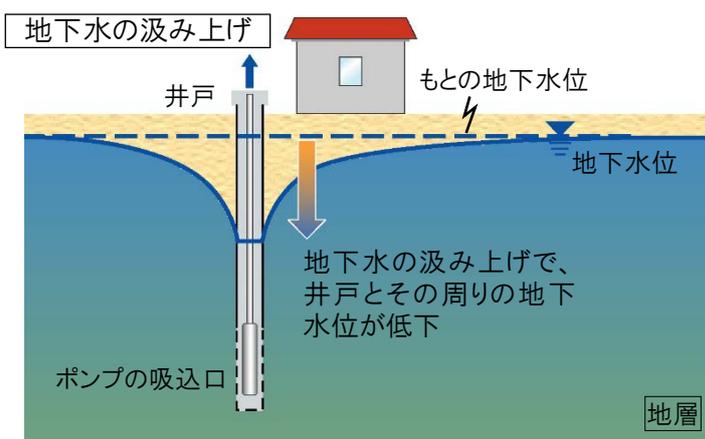
地下水を使いすぎると、地下水位が低下し、井戸で地下水を汲めない、いわゆる井戸枯れが発生します。また、海に近い地域では井戸に塩水が入ったり、粘土を多く含む地層が広がる地域では地盤沈下が生じることがあります。

【解説】

井戸から地下水を汲み上げると、井戸とその周辺の地下水位は低下します。大量の地下水を汲み続けると地下水位は低下し、ポンプの吸込口より地下水位が下がると、それ以上、地下水を汲み上げることはできません。これが、**井戸枯れ**です。数時間～数日で井戸枯れが生じる場合もあれば、数ヶ月～数年で徐々に地下水位が低下し、井戸枯れが生じる場合もあります。

さらに、地下水位が海水面よりも低い状態が続くと、海水を引き込み、井戸に塩水が入ることがあります。これが、**地下水の塩水化**です。一度、塩水化するとすぐには元に戻らず、地下水の農業利用が難しい状態となります。

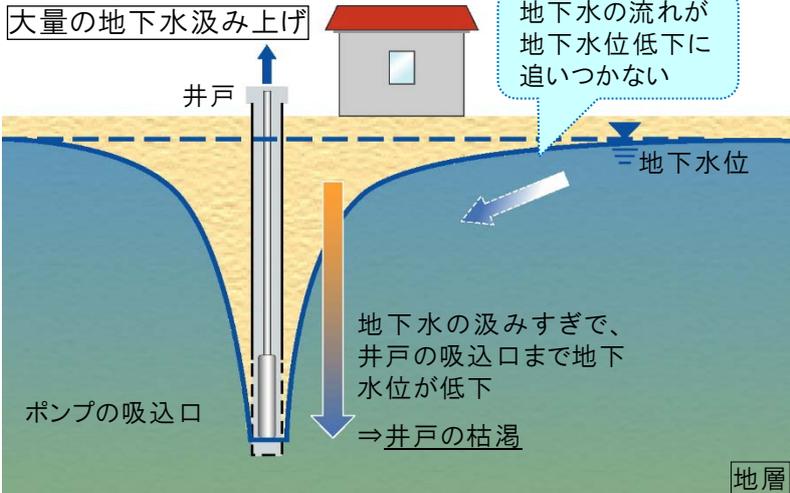
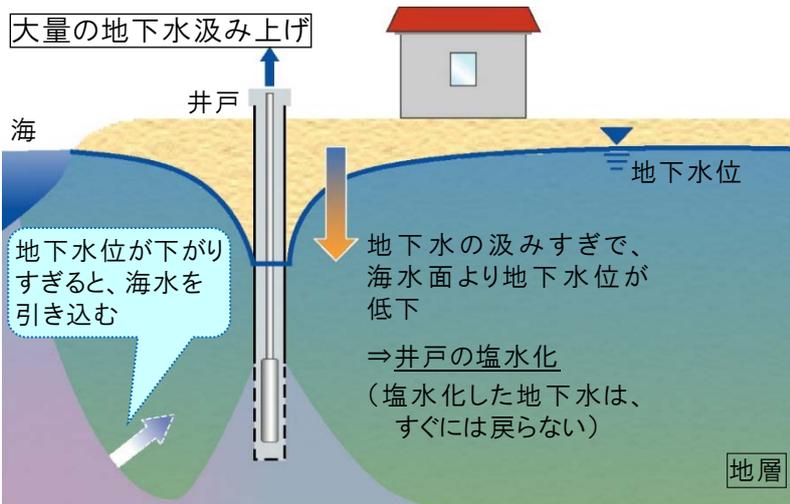
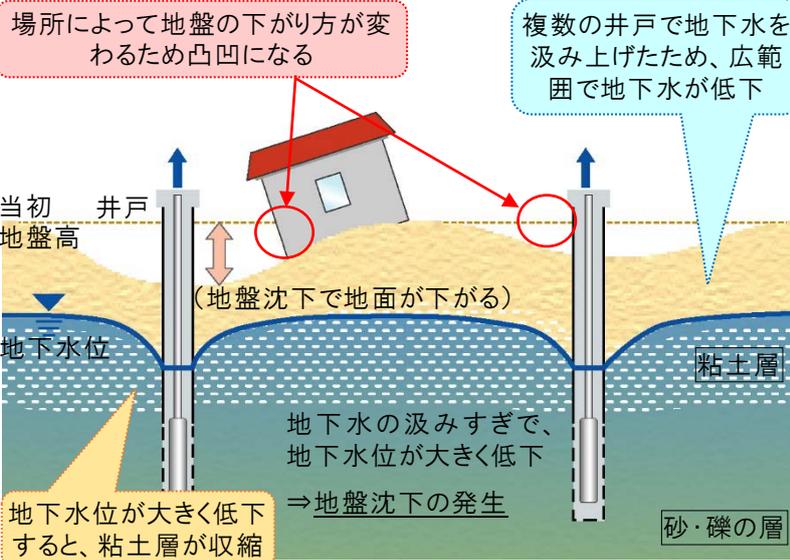
また、地下水は、土粒子の隙間を満たしています。粘土からなる地層の地下水位が低下すると地下水が抜けて粘土粒子の隙間が潰れ、地表面が下がってしまいます。これが、**地盤沈下**です。



- ・ポンプで地下水を汲み上げると、井戸を中心に地下水位が低下します。
- ・通常、地下水位は、ポンプの吸込口よりも高い位置にあるため、井戸が枯れることはありません。

図1-3 通常の地下水利用の状況（断面図）

表1-1 地下水の使いすぎによる問題

<p>井戸枯れ</p> 	<p>大量の地下水を汲み続け、ポンプの吸込口まで地下水水位が低下してしまうと、地下水水位が回復するまでの数時間～数日間、井戸から地下水は汲み上げられなくなります。</p> 
<p>地下水の塩水化</p> 	<p>海の傍などで大量の地下水を汲み上げ、海水を引き込んで地下水が塩水化してしまうと、井戸の地下水は使えなくなり、塩水に浸かった作物は枯れてしまいます。</p> 
<p>地盤沈下</p> 	<p>多数の井戸で大量の地下水を汲み上げ、広い範囲で地下水水位が低下すると、特に柔らかい粘土層が分布する地域で地盤沈下が発生します。地盤沈下は元に戻りません。</p> 

3. 地下水を使いすぎないために

地下水を使いすぎているかどうかは、次のデータから知ることができます。

- ・ 井戸の地下水位
- ・ 地下水の使用量（井戸から汲み上げている地下水量）

【解説】

3.1 どうやって地下水の使いすぎを知るのか

“井戸の地下水位”と“地下水の使用量”、この2つのデータがあれば、井戸枯れが生じる恐れがあるのかどうか、その原因が地下水の汲みすぎによるのかどうか、または、現状のまま地下水を汲み続けても問題ないのかを事前に知ることができます。

図1-4のように、ポンプ運転前の地下水位を測定することで、地下水位がポンプの吸込口より十分高いか低いかが分かります。地下水位が低い場合は、「井戸枯れが生じる恐れがある」ことを知ることができます。

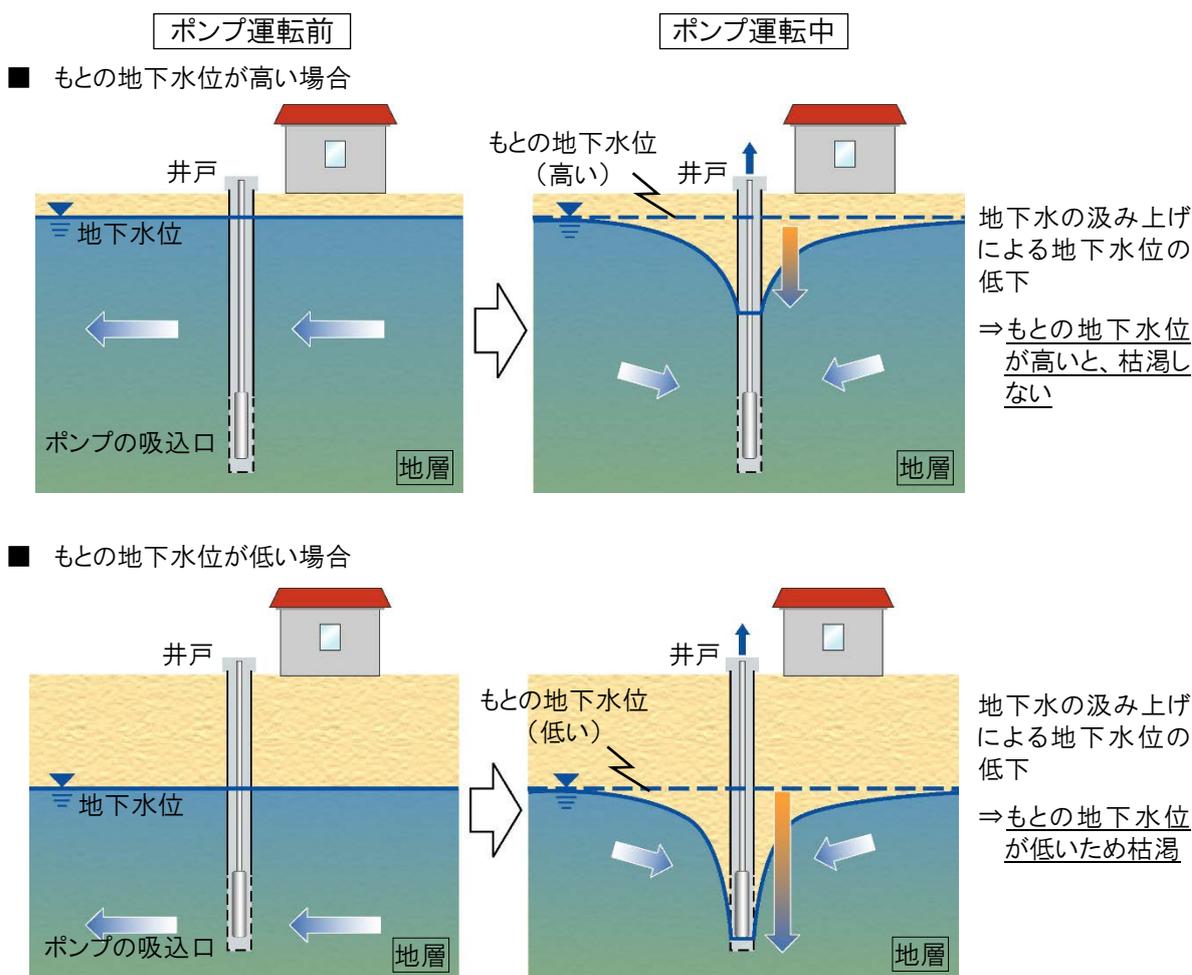
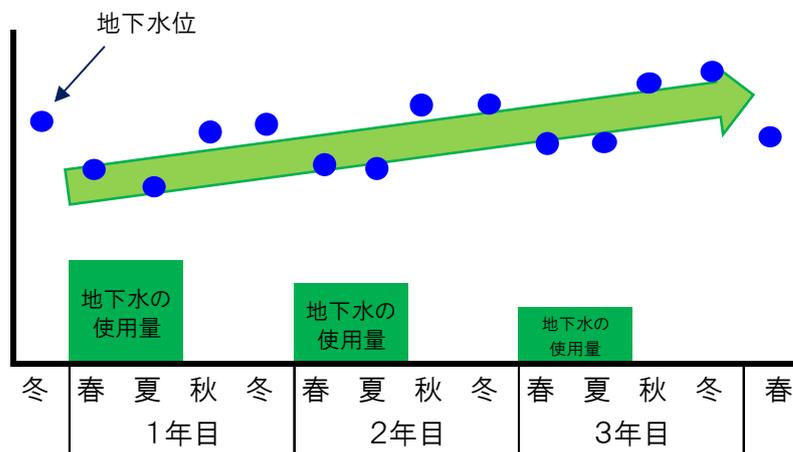
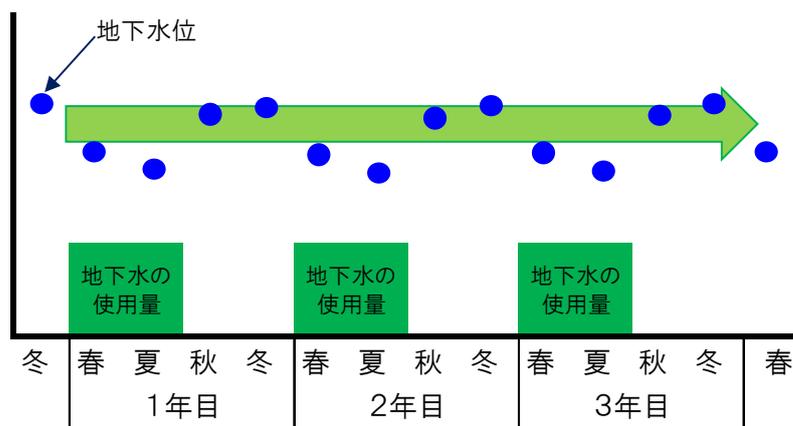


図1-4 ポンプ運転前の地下水位と井戸枯れが生じる恐れ

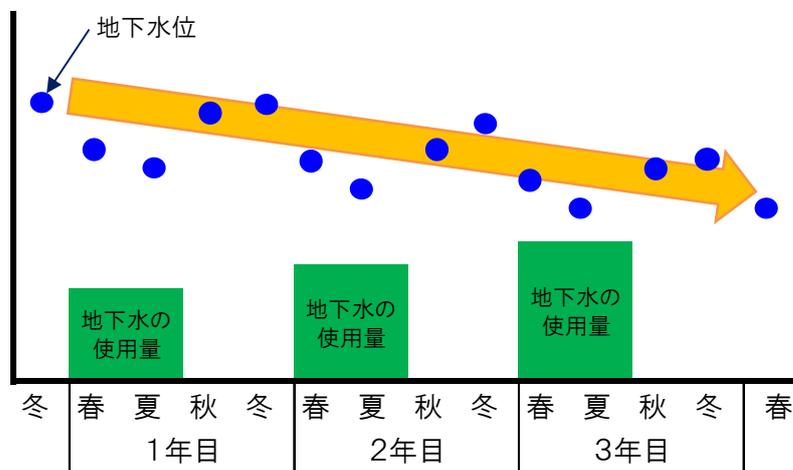
毎年の測定値を比べ、地下水の使用量が増えるとともに、地下水位が低下しているようであれば、「**長期的な井戸枯れの危険性（将来、井戸枯れが生じる恐れ）が高まっている**」ことを知ることができます。



地下水の使用量が、年々少なくなると、地下水位は、上昇傾向になる。



地下水の使用量が、毎年同じ程度だと、地下水位も、概ね、同じレベルを維持する。



地下水の使用量が、年々増加し、地下水位が低下し続けると、やがて、井戸枯れになる。

図1-5 地下水の使用量と地下水位の関係（イメージ）

3.2 地下水の観測方法

井戸の地下水位の測定は大きく2種類、地下水の使用量の測定は大きく3種類の方法に分けられます。観測目的やポンプの付帯設備等によって、最適な観測方法は異なります。

観測方法ごとの具体的な内容は、第2章（及び巻末資料）で説明します。

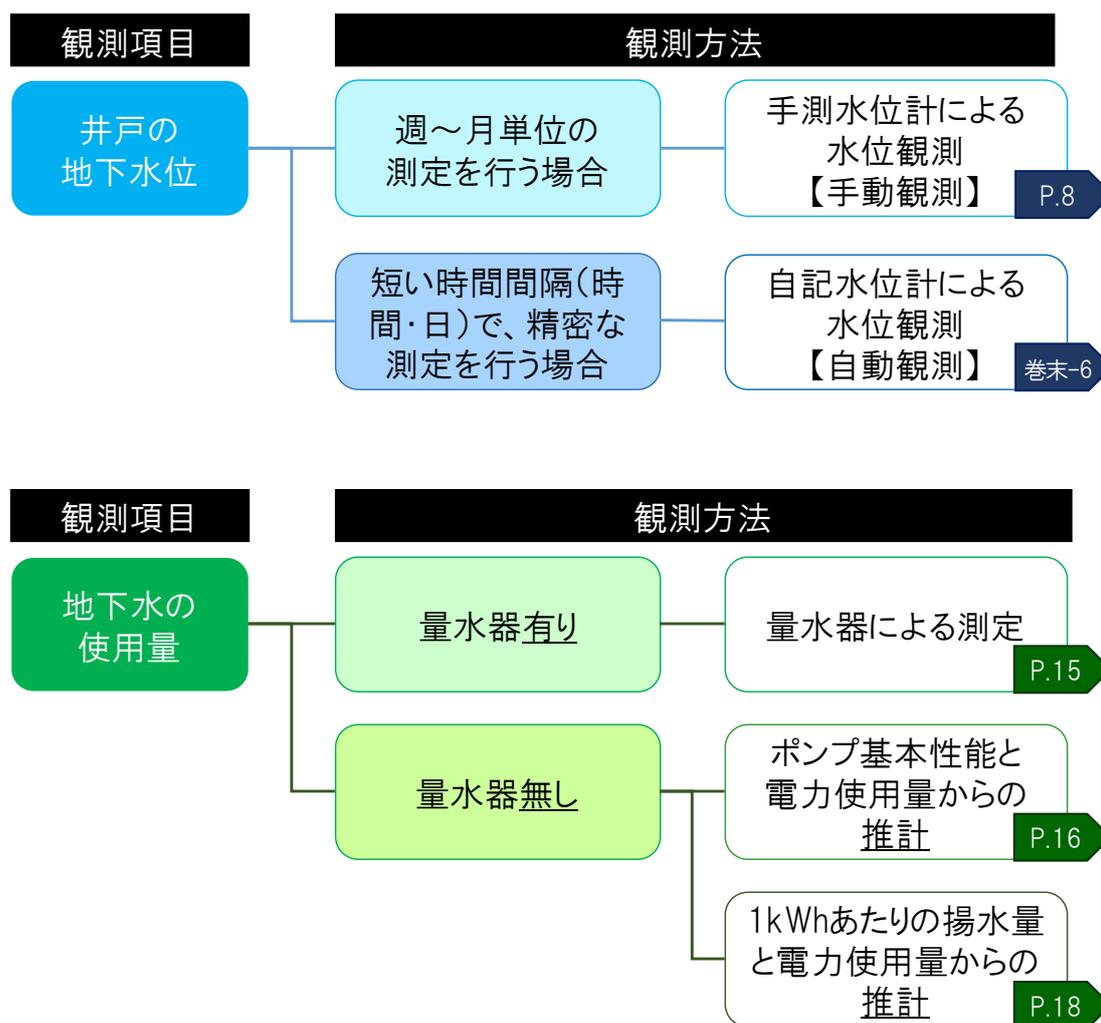


図1-6 地下水観測方法の概要

第2章

地下水の観測方法



1. 地下水位の測定

地下水位は、普段使っている井戸で測定します。

測定は、週～月に1回程度が基本ですが、ポンプにエアが噛みやすいなど、井戸枯れが生じる恐れがある場合は、密な測定をお勧めします。また、長期的な井戸枯れの危険性を知るため、継続的に測定しましょう。

【解説】

井戸の地下水位は、次の手順で測定します。

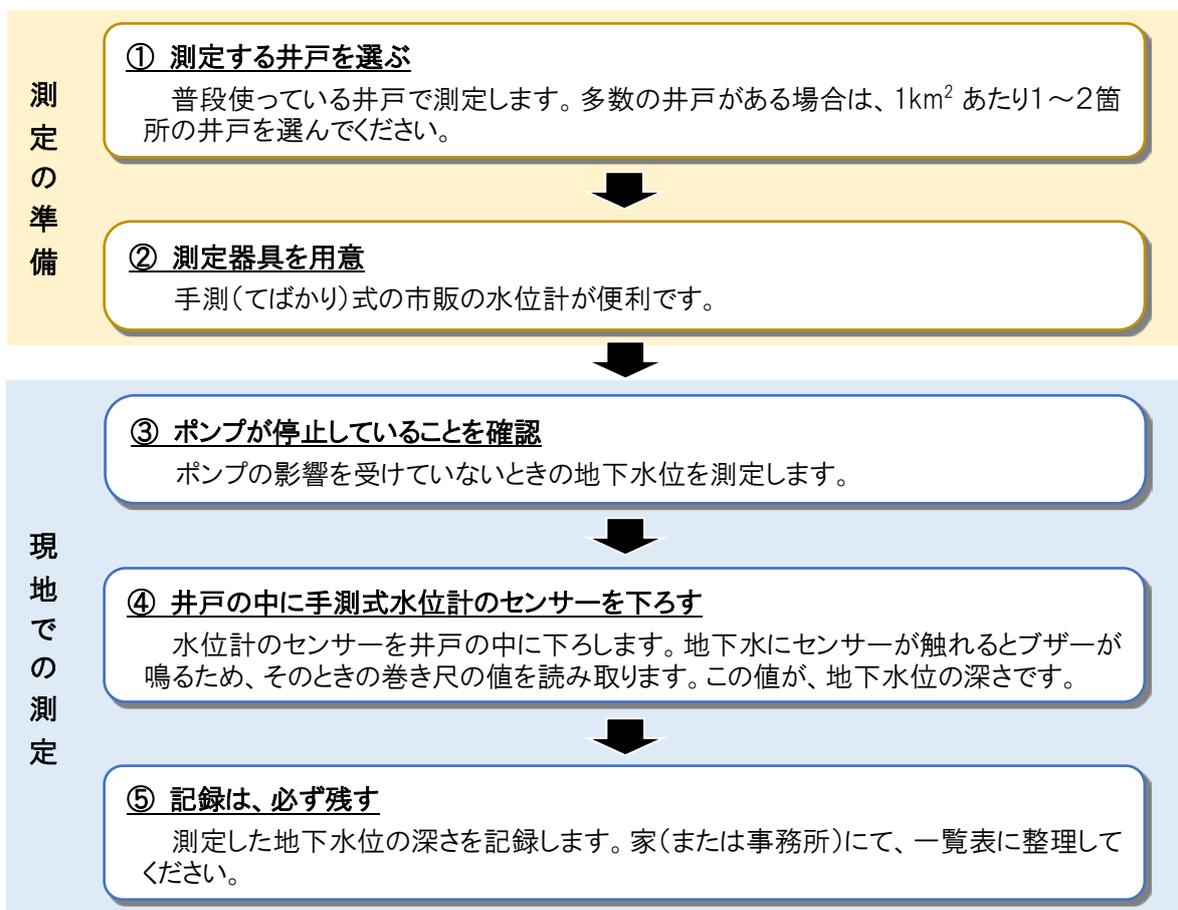


図2-1 地下水位の測定の手順

地下水位の測定頻度は、週～月に1回程度が基本ですが、時期により異なります。地下水の使用量が多くなる水田のかんがい期には、密な測定をお勧めします。

時期	測定の頻度
井戸を使っている時期	週に1回～月に1回程度
井戸を使っていない時期	月に1回～季節に1回程度
ポンプにエアが噛みやすい場合 (井戸枯れが生じる恐れがある場合)	ポンプ運転前に1回 ～週に1回程度

1.1 測定する井戸を選ぶ

地下水位は、**農業用に普段使っている井戸**で測定します。

井戸が多くある場合は、1 km²あたり1～2箇所を目安に、次の条件 a , b を満たす井戸を選定します。

測定する井戸を決める条件	考え方
a.測定作業が容易に行える	水位計のセンサー(径 1～2cm、長さ 10cm 程度、後述の写真 2-1 参照)を井戸内に入れることができ、井戸内で絡むことなく、水面まで下ろせる井戸を選びましょう。
b.よく使っている (多く汲み上げている)	枯れてしまうと営農に支障が出る、地下水の使用量の多い井戸を選びましょう。

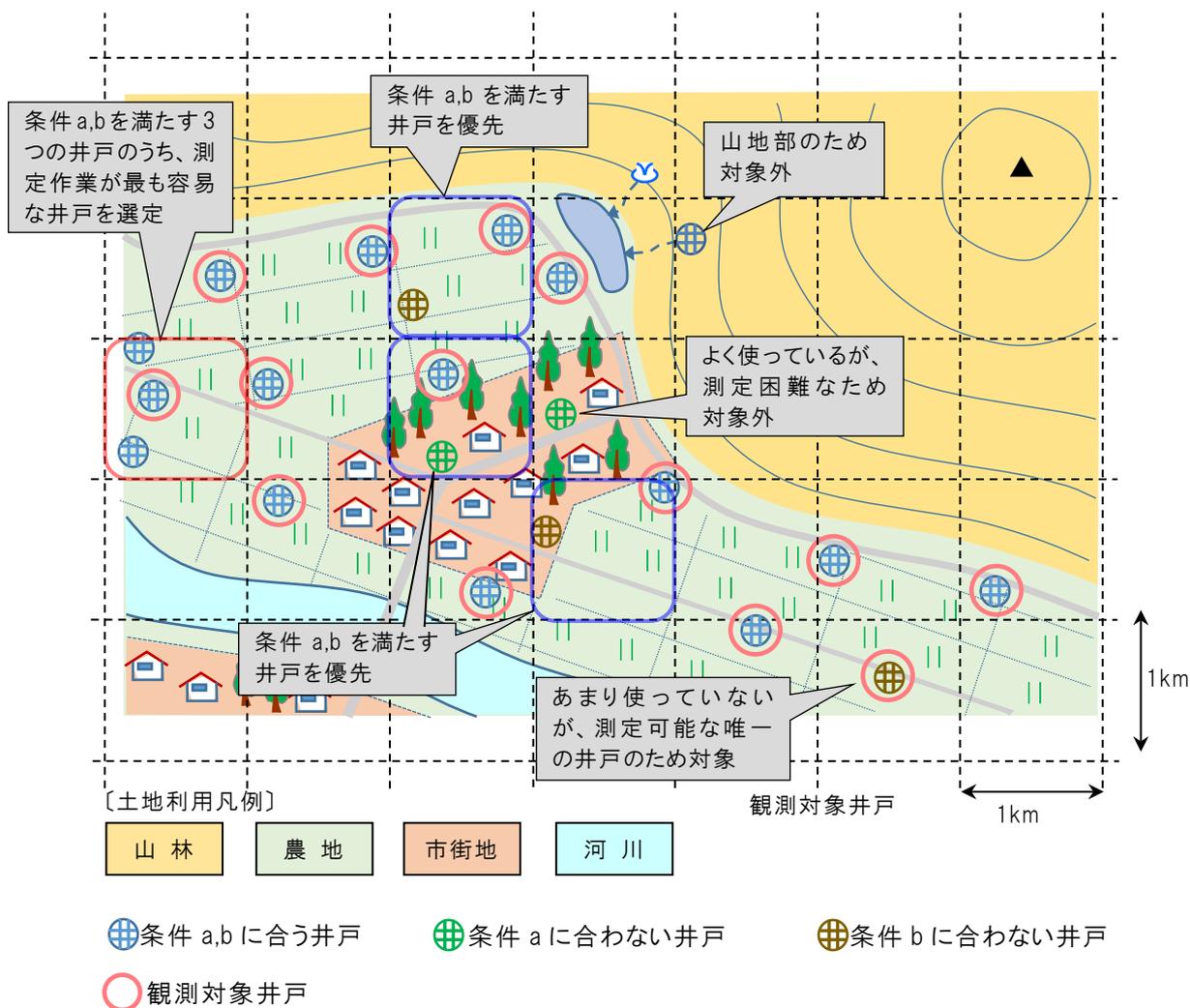
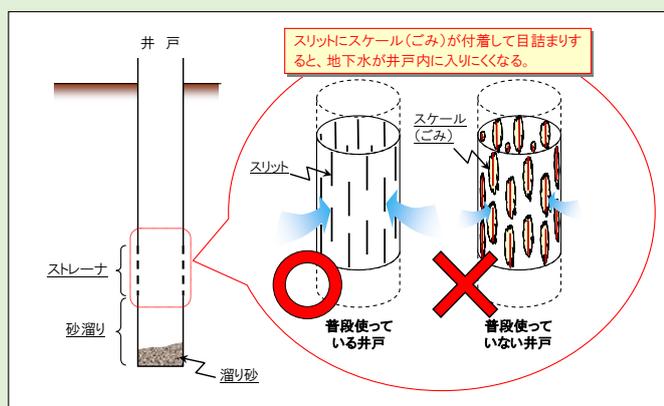


図2-2 地下水位を測定する井戸の選び方イメージ

【コラム①：井戸の目詰まり】

普段使っていない井戸は、ストレーナ※¹が目詰まりしている場合があります（右図）。このような井戸では、正確な地下水位が測定できません。

※1：井戸の側管に孔やスリットを開けたもの。地層の中の地下水が、井戸の中に入る通り道。



【コラム②：地下水位を測定する井戸の選び方】

観測点数は、「一般的には 1km² に 1～2 点の程度の割合とされることが多い。」とされています。

(建設省河川局監修(財)国土開発技術研究センター編集(1993):地下水調査および観測指針、(株)山海堂)

本手引きでは、農地の地下水位の把握を目的とし、井戸の基本的な選び方を紹介しています。

地域全体の地下水の状況を調べる場合は、対象地域の特性（地形・地質・利水形態等）や、水道・工業等の他の用途の井戸の分布も考慮して、測定する井戸を選ぶことが必要です。

【コラム③：管井戸の地下水位測定】

管井戸（右写真）には、狭い井戸内に揚水管と水中ポンプのケーブルなどが入っています。このため、無理に水位計のセンサーを下ろすと、井戸内のケーブル等に絡んでしまうことがあります。

管井戸で地下水位を測定する場合には、水位計のセンサーの上げ下ろしに細心の注意を払うことが必要です。



〔管井戸の孔口(例)〕

1.2 測定器具を用意

地下水位の測定には、**手測（てばかり）式水位計**^{*1} を用います。これは、センサーが水に触れると電流が流れ、ブザー音やランプなどで井戸の中の地下水面を知らせる、測定器具です。

（※1：一定の時間間隔（時間～日単位）で、精密な測定を行う場合には、自動で地下水位を測定できる自記式水位計が用いられます。自記水位計とその測定方法については、巻末の参考資料をご覧ください。）



〔市販の水位計の事例〕

写真2-1 手測式水位計

1.3 ポンプが停止していることを確認

ポンプが動くと、井戸の中と、井戸周辺の地下水位の間に高低差が生じます。

井戸枯れは、井戸の周辺の地下水位が低下するために発生するので、ポンプ停止時の自然状態にある地下水位を測定することが必要です。

地下水位を測定する前には、**ポンプが停止していることを確認**しましょう。

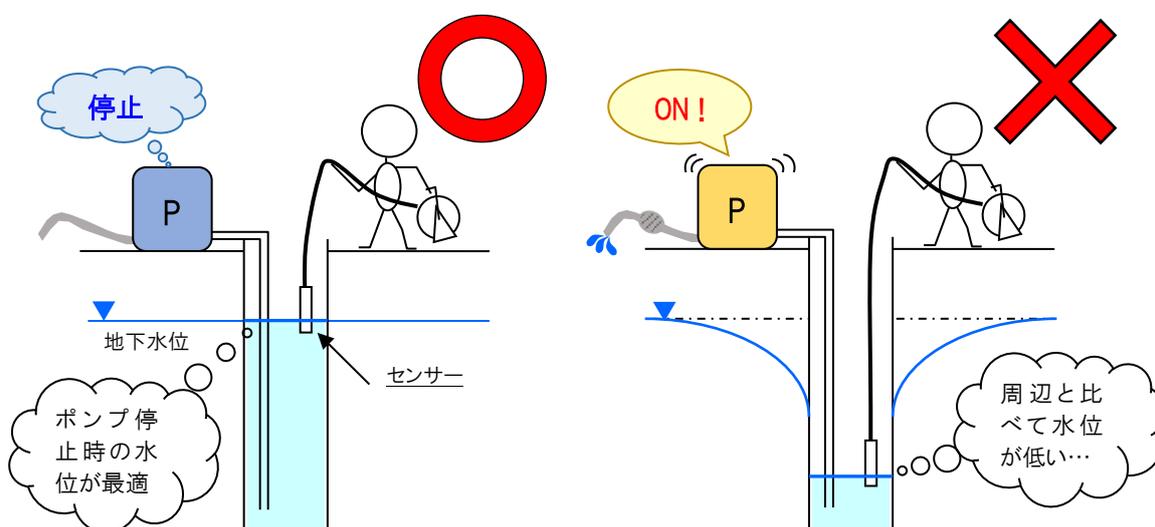


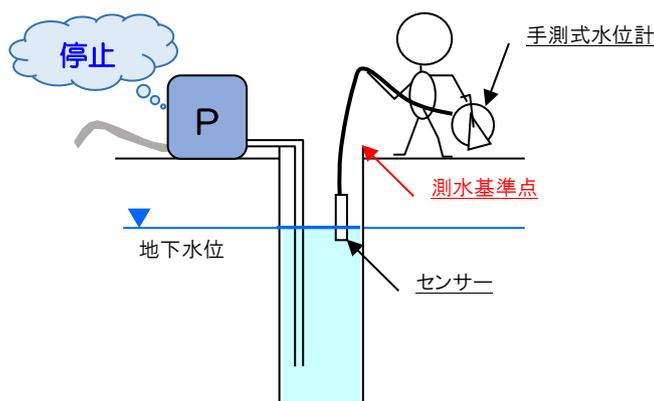
図2-3 ポンプ停止時と稼動時の地下水位

1.4 井戸の中に手測式水位計を下ろす

井戸蓋の上端や井戸の天端などに、地下水位測定のための基準となる点（測水基準点^{※1}）を設け、井戸の中に手測式水位計のセンサーを、ゆっくりと下ろします（写真2-2）。センサーが地下水に触れるとブザー^{※2}が鳴るので、そのときの測水基準点における巻尺の目盛りを読み取ります。この値が、地下水位の深さです。

（※1：毎回、同じ場所からの深さを測るため、印を付けておきましょう。）

（※2：市販の手測式水位計ではブザー音のほか、ランプやテストで知らせる器具もあります。）



①手測式水位計のセンサーを、井戸の中に下ろします。



②ブザーが鳴ったら、その位置が地下水位です。



③測水基準点の位置で巻尺の目盛りを押さえます。



④押さえた位置の目盛りを読み取ります。この値が、地下水位の深さです。

写真2-2 地下水位の測定方法

1.5 記録は、必ず残しましょう

測定した地下水位の深さは、**その場で記録**します。そして、家（または事務所）にて、**整理様式（一覧表）に整理**^{※1}してください。

測定した地下水位から、井戸枯れが生じる恐れがあるかどうか分かる他、測定を継続して蓄積したデータは、長期的な井戸枯れの危険性を知るために、非常に重要です。

（※1：記録の整理方法と解釈の方法は、第3章及び巻末の様式例をご覧ください。）

【コラム④：地下水位の標高】

地域全体の地下水の状況を把握するためには、井戸の地下水位を相互に比較するとともに、地形・地質・利水形態等との位置関係を明らかにするなど、様々なデータの集約が基本です。

このため、井戸の地下水位も、測水基準点からの“深さ”ではなく、“標高”として表す必要があります。“深さ”を“標高”に換算するには、測水基準点の標高を計測します。

一般に、測水基準点の標高の計測では、簡易水準測量（右写真）が行われます。



【コラム⑤：スマートフォンで現地計測】

スマートフォンやタブレットなどの情報通信機器に標準装備されている GPS 機能を使って、緯度経度・標高・住所などの位置情報を取得するアプリが多く出ています。

これらを利用すれば、専門的な測量をせずに、おおよその位置情報の取得が可能です。

現地計測の他、インターネットにつながっているスマートフォンやパソコンで「地理院地図」（<http://maps.gsi.go.jp>）を開き、写真や地形図、住所から該当箇所の位置情報を確認することもできます。



「地理院地図」での位置確認状況（スマートフォン版）

「地理院地図」の初期画面（パソコン版）



2. 地下水の使用量の測定

地下水の使用量は、普段使っている井戸で測定します。

測定は、月に1回程度が基本です。地下水位と合わせて使用量を見ることで、地下水を汲みすぎかどうか、そして長期的な井戸枯れの危険性が分かりますので、継続的に測定しましょう。

【解説】

地下水の使用量は、3通りの測定方法があり、次の手順で測定します。

測定頻度は、月に1回程度です。

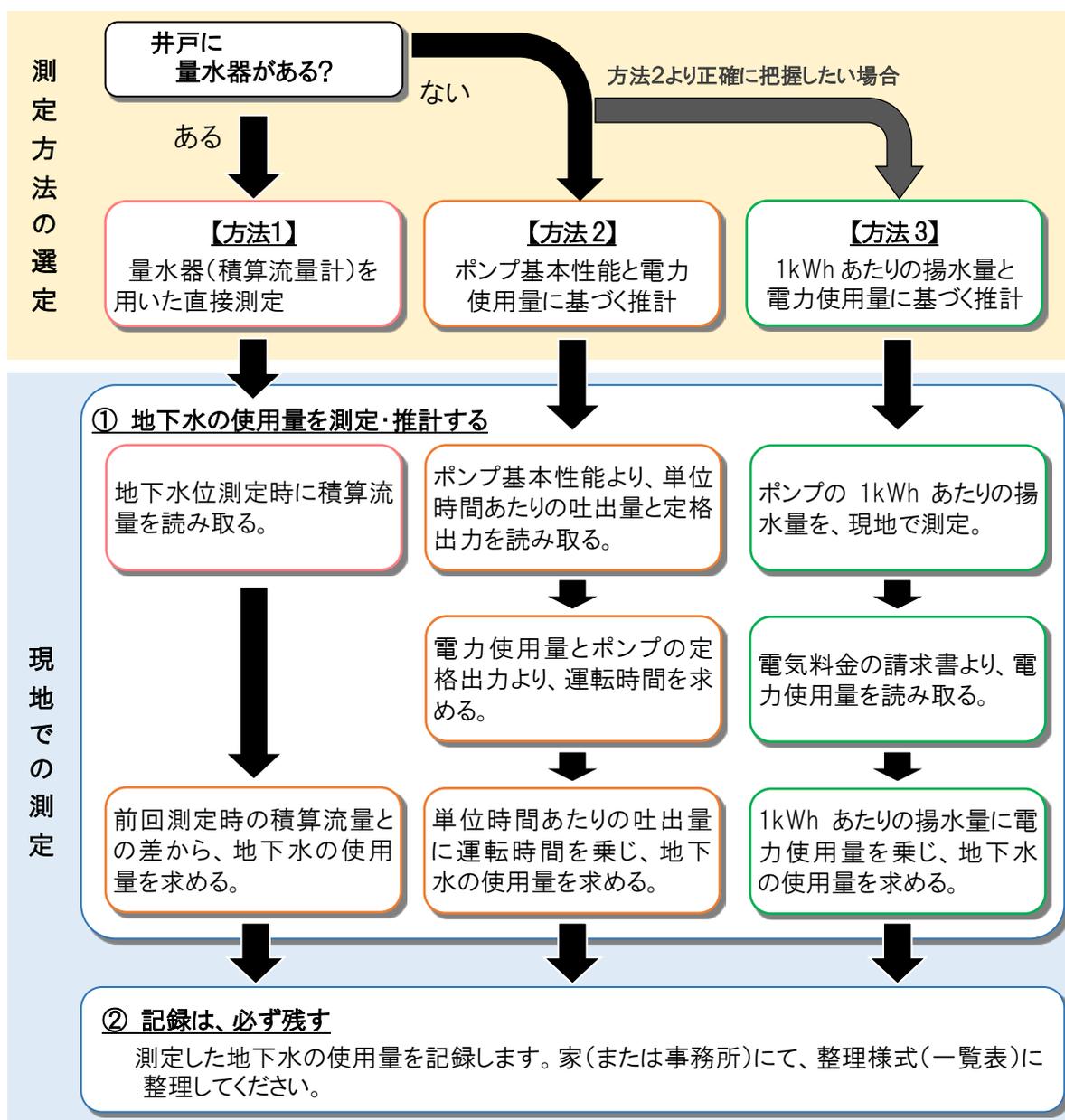


図2-4 地下水の使用量の測定・推計手順

2.1 【方法1】 量水器（積算流量計）を用いた直接測定

量水器のカウンターに表示される「積算流量」から、地下水の使用量を求めます。

$$\underline{Q} = \underline{q_e} - \underline{q_s} \quad \dots \text{式(1)}$$

地下水使用量 (m³) 今回の読み値: 積算流量 (m³) 前回の読み値: 積算流量 (m³)

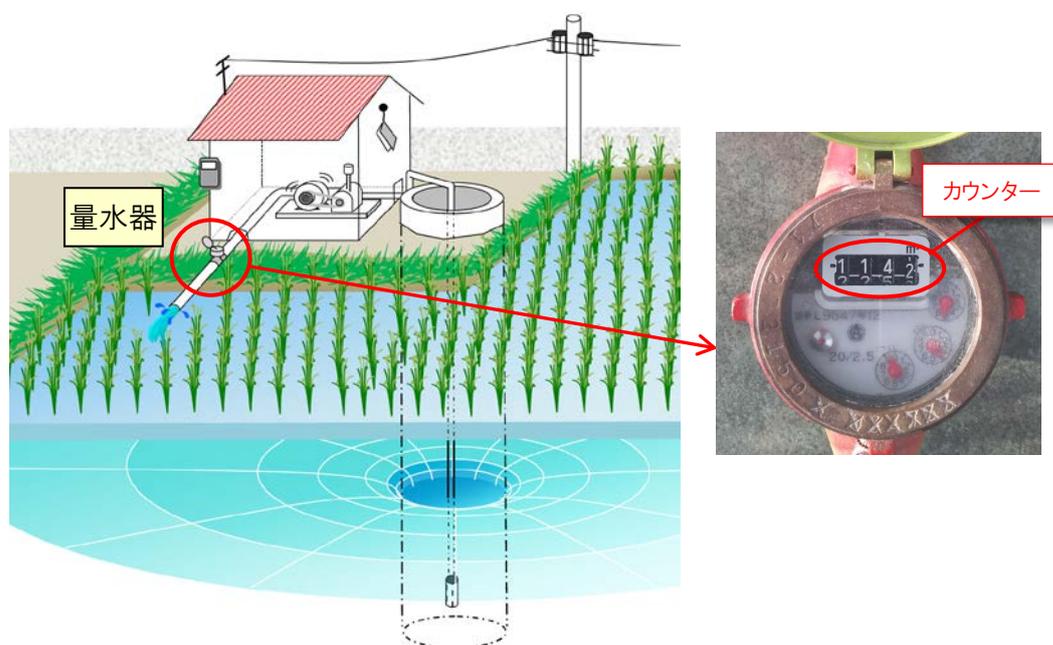


図2-5 量水器を用いた直接測定

(1) 必要な計測器具

- ・量水器（積算流量計）

(2) 測定手順

- ① 地下水位測定時に、量水器から「積算流量 (q_s、q_e)」を読み取ります。
- ② 算定式 (式(1)) に従い、「地下水の使用量 (Q)」を求めます。

(3) 計算の仕方 (例)

- ・前回測定時の積算流量 (q_s) は、「868m³ (H28/7/16)」。
- ・今回測定時の積算流量 (q_e) を「1,142m³ (H28/8/17)」と読み取る。
- ・H28/7/16～8/17 までの地下水の使用量 (Q) を、今回測定値から前回測定値を引いた、「1,142 (m³) - 868 (m³) = 274 (m³)」と算定。

2.2 【方法2】 ポンプの基本性能と電力使用量に基づく推計

「単位時間あたりの揚水量」に「運転時間」を乗じ、地下水の使用量を求めます。

$$Q = Ra \times T \quad \dots \text{式(2)}$$

Q 地下水使用量 (m³)
 Ra 単位時間あたりの揚水量 (m³/h)
 T 運転時間 (h)

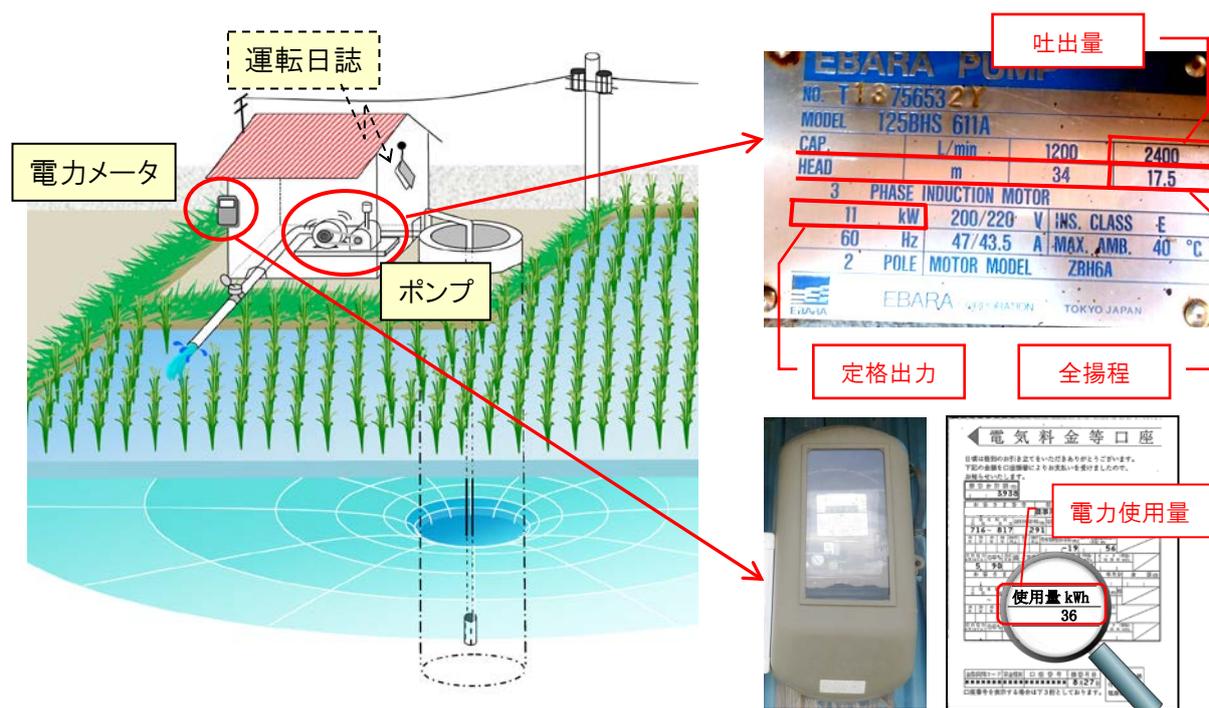


図2-6 ポンプの基本性能と電力使用量に基づく推計

(1) 必要な資料

- ・ポンプ設置時の報告書／ポンプの銘板
- ・電力会社からの請求書の明細

(2) 推計手順

- ① ポンプ設置時の報告書またはポンプに附属する銘板に記載されている（最大）吐出量を読み取り、これを「単位時間あたりの揚水量 (Ra)」とします。また、“定格出力” も読み取ります。
- ② 電力料金の請求書に記載されている“電力使用量”を読み取り、これをポンプの“定格出力”で割って、「運転時間 (T)」を求めます。
- ③ 算定式 (式(2)) に従い、「地下水の使用量 (Q)」を求めます。このとき、推計根拠である「単位時間あたりの揚水量 (Ra)」と、“電力使用量”、“定格出力”を記録しておきましょう。

(3) 計算の仕方(例)

- ポンプに附属する銘板から、単位時間あたりの揚水量 (Ra) を「144m³/h (2,400L/min)」、定格出力を「11kW」と読み取る。
- 電力料金の請求書から、H28/7/16~8/17までの電力使用量を「36kWh」と読み取る。H28/7/16~8/17までの運転時間 (T) を「36 (kWh) ÷ 11 (kW) = 3.27 (h)」と算定。
- 同期間の地下水の使用量 (Q) を、
「144 (m³/h) × 3.27 (h) = 471 (m³)」と算定。

【コラム⑥：ポンプ基本性能に記されている吐出量】

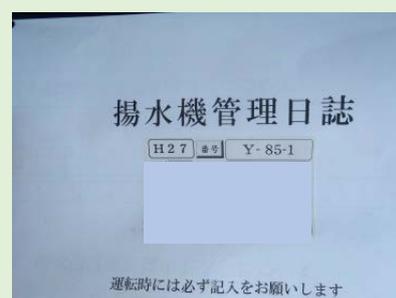
基本性能に記された(最大)吐出量は、ポンプ設置時に想定した全揚程(≒吸込揚程)での吐出量です。吐出量が、複数記されていることがありますが、大きい方(最大)の値を選択してください。1つのみであれば、その値を使います。

但し、実際の全揚程が異なると、吐出量は多くなることもあれば、少なくなることもあります。また、ポンプは年数とともに劣化し、基本性能どおりの吐出量を満たさなくなることが一般的です。このため、方法2で推計した値は、実際の地下水使用量との誤差が大きくなる可能性があります。より精度の良い地下水使用量を推計するには、方法3を推奨します。

【コラム⑦：ポンプの運転時間】

運転時間を把握するために、井戸を使用する農家が“運転日誌(右写真)”を記録している事例も多くあります。しかし、記録漏れにより、いつどのくらいの時間運転したのかは不明になりがちです。

電力使用量を定格出力で割って運転時間とする方法は、こうした“運転日誌の記録漏れ”に代わるものとして考案されました。ただし、ポンプ運転時の実際の出力が定格出力と異なることもあるため、算定した「運転時間」が“検針日から検針日までの対象期間の時間数”を超える場合があります。このような場合、「運転時間」=対象期間の時間数とすることが一般的です。



2.3 【方法3】 ポンプの1kWhあたりの揚水量と電力使用量に基づく推計

「1kWhあたりの揚水量」に「電力使用量」を乗じ、地下水の使用量を求めます。

(注：本推計手法は、より精度の高い地下水の使用量の推計を望む場合に有効です。)

$$Q = Rb \times E \quad \dots \text{式(3)}$$

Q (地下水使用量 m^3) = Rb (1kWhあたりの揚水量 m^3/kWh) × E (電力使用量 kWh)

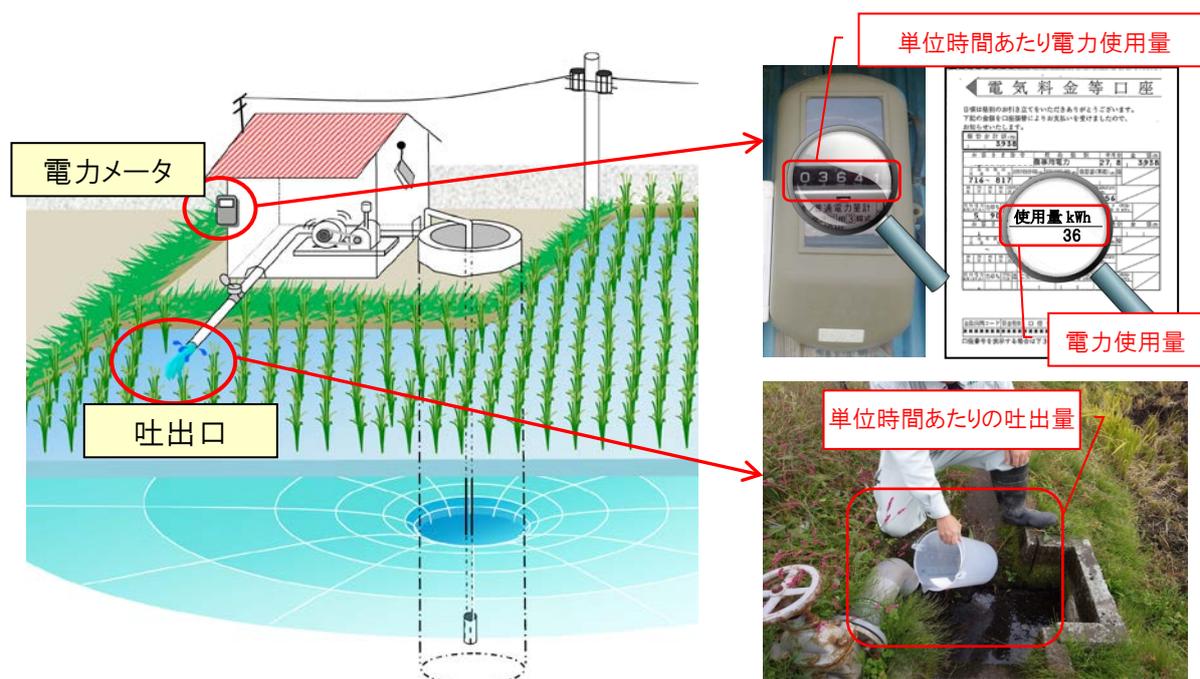


図2-7 ポンプの1kWhあたりの揚水量と電力使用量に基づく推計の概要

(1) 必要な計測器具と資料

- 揚水量計測器具
 - 【容器法による場合】 ビニール袋・バケツ、計量容器、ストップウォッチ
 - 【断面流速法による場合】 流速計、測量用スタッフ、鋼尺
 - 【超音波流量計の場合】 超音波流量計
- 電力会社からの請求書の明細

(2) 推計手順

- ① 現地にて、運転中のポンプの、“単位時間あたりの吐出量と電力使用量”を測定し、「1kWhあたりの揚水量 (Rb)」を求めます。(図2-8参照)
- ② 電力料金の請求書に記載されている「電力使用量 (E)」を読み取ります。
- ③ 算定式(式(3))に従い、「地下水の使用量 (Q)」を求めます。

① 1kWhあたりの揚水量[Rb]の算定式

$$R_b = r_a \div e \quad \dots \text{式(a)}$$

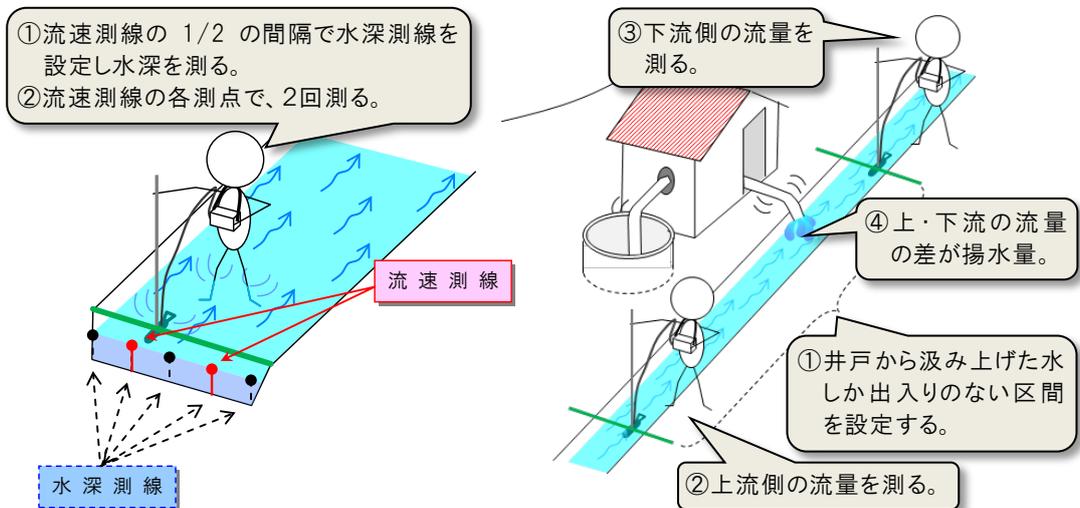
1kWhあたりの揚水量(m³/kWh)
単位時間あたりの吐出量(m³/h)
単位時間あたりの電力使用量(kWh/h)

② 単位時間あたりの吐出量[r_a]の測定

容器法 : ポンプの吐出口が確認でき、吐出量が少ない場合の方法です。水の出口に容器を置いて、一定時間(例えば1分間)に出る水の量を測定します。(写真①)



断面流速法 : 汲み上げた地下水が水路に放流されている場合の方法です。流速計を使って、一定時間内の流速を測定します。流速に断面積を乗じた値が流量になります。(写真②)



超音波流量計 : 汲み上げた地下水の経路がパイプしか確認できない場合の方法です。パイプの外から、特殊な計測機器(超音波流量計)を使って、一定時間内の流量を測定します。(写真③)

参照: 絵で見る水文観測(2001): 社団法人中部建設協会

③ 単位時間あたりの電力使用量[e]の測定

ポンプ運転中の、一定時間(例えば、揚水量測定中の10分間)の電力使用量を電力メータで測定します。(写真④)

④ 1kWhあたりの揚水量[Rb]の算定

1kWhあたりの揚水量を、式(a)に従って求めます。

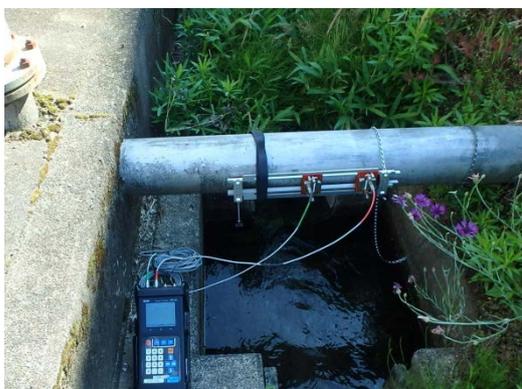
図2-8 1kWhあたりの揚水量の測定手順



① 容器法



② 断面流速法



③ 超音波流量計



④ 電力メーターの計測

写真2-3 揚水量計測の概要

(3) 計算の仕方(例)

- 運転中のポンプの単位時間あたりの吐出量 (r_a) を「 $85.2\text{m}^3/\text{h}$ 」と測定。また、揚水量計測開始時の電力メーターを「 $3,640\text{kWh}$ 」、揚水量計測開始 10 分後の終了時の電力メーターを「 $3,641\text{kWh}$ 」と読み取り、運転中のポンプの単位時間あたりの電力使用量 (e) を「 $(3,641(\text{kWh}) - 3,640(\text{kWh})) \div 10(\text{min}) \times 60(\text{min}) = 6.0(\text{kWh}/\text{h})$ 」と測定。運転中のポンプの単位時間あたりの吐出量 (r_a) と電力使用量 (e) より、 1kWh あたりの揚水量 (R_b) を「 $85.2(\text{m}^3/\text{h}) \div 6.0(\text{kWh}/\text{h}) = 14.2(\text{m}^3/\text{kWh})$ 」と算定^{※1}。
- 電力料金の請求書から、H28/7/16~8/17 の電力使用量 (E) を「 36kWh 」と読み取る。
- 同期間の地下水の使用量 (Q) を、
「 $14.2 (\text{m}^3/\text{kWh}) \times 36 (\text{kWh}) = 511 (\text{m}^3)$ 」と算定。

(※1: 1kWh あたりの揚水量 (R_b) は、複数回測定して算定した平均値を用いることを推奨します。)

第3章

観測結果から分かること



1. 測定データの整理

地下水位と地下水の使用量の測定データは、井戸枯れの兆候を事前を知るためにとても重要な情報です。

測定データの整理においては、地下水位や地下水使用量の推移が分かるように、グラフ化することをお勧めします。

【解説】

既存・新規に関らず、測定データは、将来に渡って使えるようにすることが大切です。とくに、長期的な井戸枯れの危険性を判断するためには、複数年の継続したデータが必要です。そのために、日頃から**整理様式（一覧表）***1を定めておきましょう。

図は、毎月1回の地下水位の測定と、ポンプの電気料金請求に合わせて地下水の使用量を推計する場合の、データ整理様式の一例です。

(※1：整理様式は、巻末の様式例をご覧ください。)

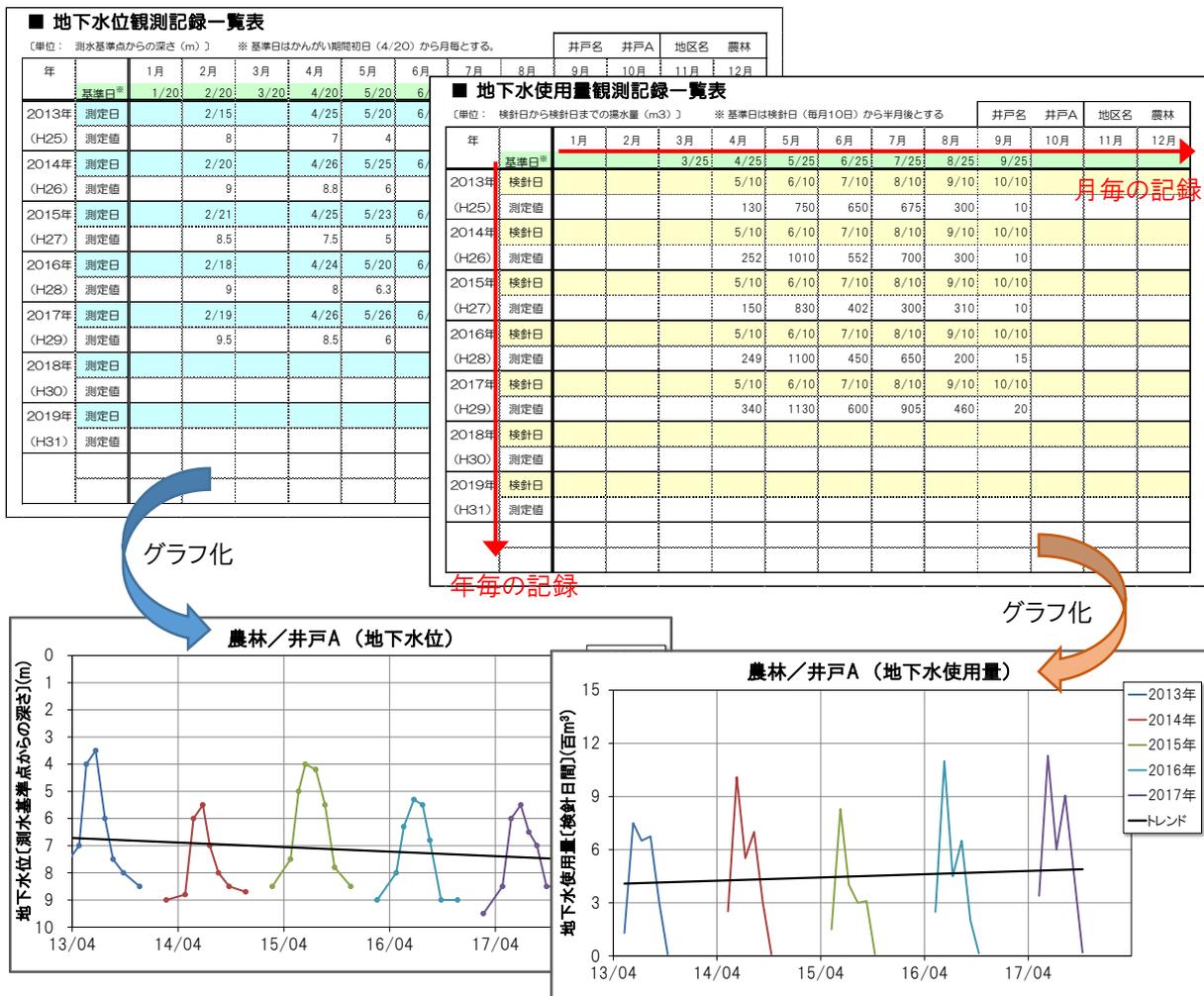


図3-1 データ整理様式（一覧表）とグラフ化の事例

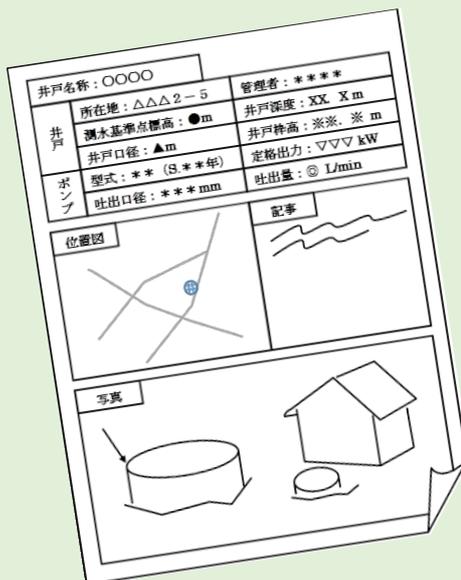
【コラム⑧：井戸台帳】

測定データのほかに、無いと困るデータが、井戸に関わる情報です。

井戸に関わる情報は、“井戸そのものの情報”と、“ポンプに関する情報”の2つに大別されます。井戸そのものの情報は、井戸名称・所在地・管理者、井戸深度・口径、使用用途・頻度、測水基準点位置・標高などからなり、ポンプに関する情報は、ポンプの型式・設置年、吐油量・定格出力などの基本性能に関する内容であることが、一般的です。

井戸に関わる情報は、井戸やポンプのメンテナンス時に必要な資料のため、1井戸あたり1～2枚の「井戸台帳^{※1}」として整理し、適切に保管することが重要です。

(※1：井戸台帳の様式は、巻末の様式例をご覧ください。)

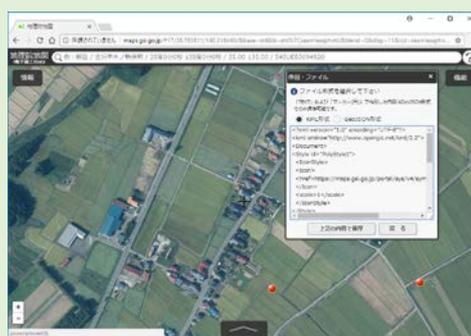


【コラム⑨：井戸の位置図】

近年、ICTの発展により、井戸の位置情報を、Web上で一般公開されている地図データと組み合わせる方法も普及しつつあります。

コラム⑤でも紹介した「地理院地図」等の地図閲覧サイトは、地図を見る／測るだけでなく、作図と作図データの保存^{※1}もできる機能を有しており、井戸の位置図を効率的に作成することが可能です。

“井戸そのものの情報”と、“ポンプに関する情報”を追加して、簡易の井戸台帳としても活用できます。



〔作図・データ保存画面(地理院地図)〕

※1：データ保存はkml形式で保存すると、「地理院地図」の他、GoogleEarth等の様々な地図閲覧サイトで閲覧が可能です。

2. 井戸枯れが生じる恐れのある判断と対応方法

ポンプ運転前の地下水位がポンプの吸込口付近まで下がっていることを把握しておけば、「井戸枯れが生じる恐れがある」ことを知ることができます。
このような場合は、地下水の使いすぎに注意しましょう。

【解説】

ポンプを運転すると、井戸を中心に、地下水位が低下します。大量の地下水を汲み上げて地下水位がポンプの吸込口付近まで低下すると、それ以上、地下水を汲み上げることができなくなります。

ポンプ運転前の密な地下水位測定により、地下水位がポンプの吸込口より十分高いか、または低いかの判断が分かります。井戸枯れが生じる恐れを事前に知ることができます。

一旦、井戸枯れが生じると回復までに時間を要しますので、井戸枯れが生じる恐れありと判断した場合は、地下水の使用量を減らすなど、**地下水の使いすぎに注意**しましょう。

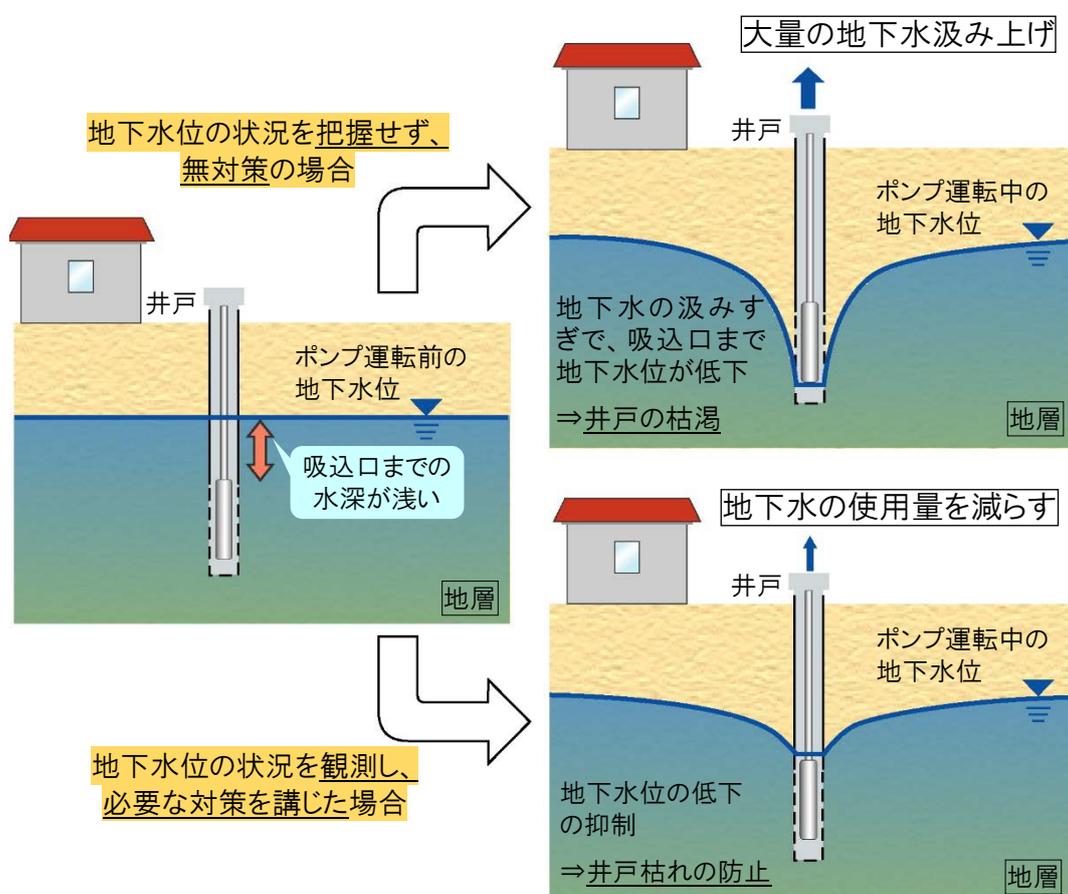


図3-2 「地下水の使用量の調整による井戸枯れ防止」のイメージ

3. 長期的な井戸枯れの危険性の判断と対応方法

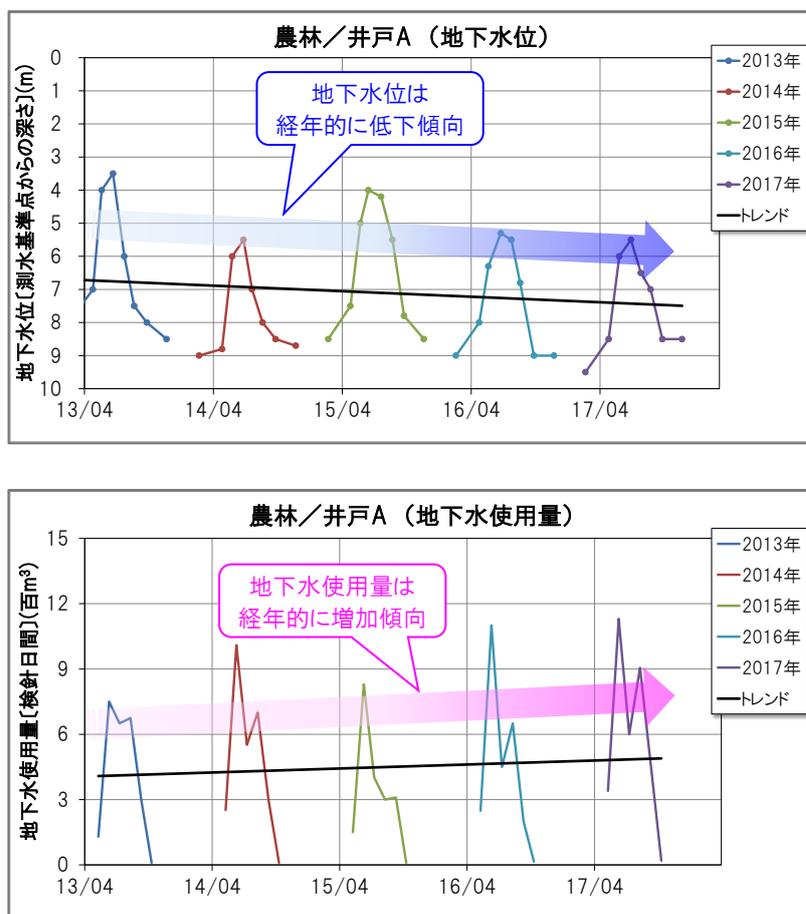
経年的に、地下水の使用量が増えるとともに地下水位が低下していれば、「長期的な井戸枯れの危険性が高まっている」ことを知ることができます。

このような場合は、これ以上、地下水位が下がらないよう、地下水の使用量を減らしましょう。

【解説】

地下水位は、雨や雪の影響を受け、年や季節によって変化します。ただし、年々、地下水の使用量が増えるとともに地下水位が低下している場合、地下水を使いすぎている可能性が疑われます。徐々に地下水位が低下すると、やがて、井戸枯れが頻発し、海岸付近では塩水化、低平地では地盤沈下の危険性も増します。

このような問題を防ぐため、蓄積した地下水位と地下水の使用量の継続的な測定データから、地下水位が安定する地下水の使用量を分析し、**これ以上、地下水位が下がらないよう、地下水の使用量を減らすことが必要**です。



これ以上、地下水位が下がらないよう、地下水使用量を減らす必要がある…

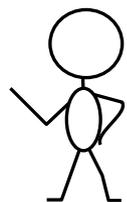


図3-3 「測定データの長期的な変動傾向と読み取り方」のイメージ

4. 地下水の持続的な利用を地域全体で取り組むために

地下水位の低下は、個々の井戸だけでなく、地域全体における地下水の汲みすぎや、地下水涵養量の減少に関連する場合があります。

地下水の持続的な利用に向けて、地下水利用者は、自ら使用する井戸の状況を常に把握するとともに、地域全体での取り組みに積極的に協力しましょう。

【解説】

市街化の進展により混住化が進んだ農業地域では、多くの場合、他の用途の井戸も混在しています。このため、農業用井戸で確認された地下水位低下が、他の用途の地下水使用量の増加に因ることもあれば、農業用の地下水使用量の増加が、他の用途の井戸の地下水位低下の原因になることもあります。さらには、地下水使用量の増加ではなく、市街化等に伴う地表・水田及び川からの地下への浸透量（地下水涵養量）の減少が、井戸の地下水位低下の原因である場合もあります。

このように、井戸の地下水位低下は、個々の井戸での地下水の汲みすぎだけでなく、地層の広がりを通じて地域全体の地下水の汲みすぎや地下水涵養量の減少に関連する場合があります。

地域全体で地下水に問題が生じた際には、地方公共団体などの公的機関が対処することが一般的です。農業用の地下水利用者は、自ら使用する井戸の地下水位と地下水の使用量の状況を常に把握するとともに、地域の地下水を持続的に利用するため、**地方公共団体等が行う原因分析や問題解決へ向けた取り組みに、積極的に協力（井戸・地下水位情報の提供 等）**することが望めます。

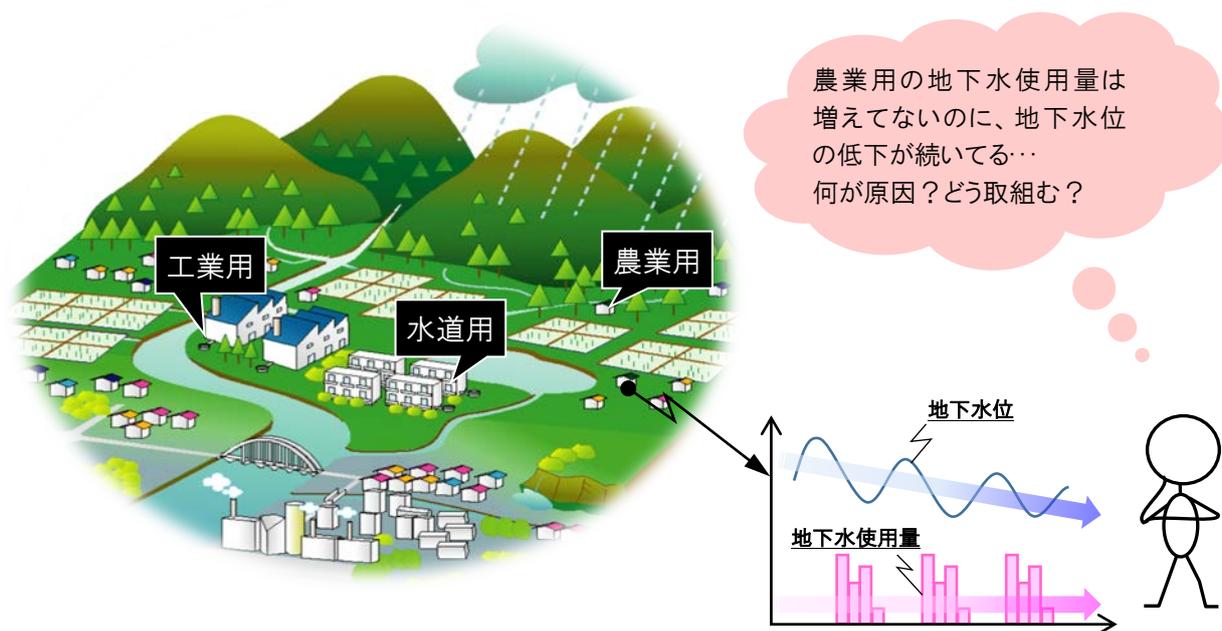


図3-4 「地域全体での情報集約・分析、問題解決に向けた取り組み」のイメージ

(1) 卷末資料

- 水循環基本法
- 水田の地下水涵養機能
- 地下水涵養量の推計
- 農業用地下水利用地域における地下水障害
- 地下水の使用量の推計精度
- 自記水位計による地下水位の測定
- 水田地域における地下水位変化の特徴
- 井戸新設時の留意点

【水循環基本法】

平成 27 年 7 月 10 日、『水循環基本法』（平成 26 年 4 月 2 日公布）に基づいて、健全な水循環に関して国の計画等の指針となる『水循環基本計画』が策定されました。

水循環基本法では、『流域に係る水循環について、流域として総合的かつ一体的に管理されなければならない。』（第 2 条第 4 項）ことを基本理念の一つとし、さらに『流域の総合的かつ一体的な管理を行うため<中略>、連携及び協力の推進に努める（第 16 条第 1 項）』ことを基本的施策の一つとしています。そして、これらの理念・施策を推進するため、基本計画では「流域マネジメント」^{※1}や「地下水マネジメント」^{※2}の取組を推奨しています。

こうした水循環をめぐる動きの中で、水利用者に対しては、今後益々、“水利用の実態把握と情報提供”が求められ、中でも地下水に関しては、『<略>地域における合意形成を図りつつ持続可能な地下水の保全と利用^{※3}を推進するためには、地下水の利用や挙動の実態把握等から始める必要がある。』とされており、今後、農業地域でも、地下水利用の実態把握は重要な課題になっていくことでしょう。

※1：流域マネジメント

森林、河川、農地、都市、湖沼、沿岸域等において、人の営みと水量、水質、水と関わる自然環境を良好な状態に保つ、又は改善するため、流域において関係する行政などの公的機関、事業者、団体、住民等がそれぞれ連携して活動すること。

※2：地下水マネジメント

地下水の地域性を踏まえ、地下水の保全とバランス（水収支）など、地下水に関する課題等について地域の共通認識を醸成した上で、地域社会における地下水の持続的利用や地下水挙動の実態把握とその分析・可視化、保全（質・量）、涵養、採取等に関する地域における合意形成やその内容を実施すること。

※3：持続可能な地下水の保全と利用

地盤沈下、地下水汚染、塩水化などの地下水障害の防止や生態系の保全等を確保しつつ、地域の地下水を守り、水資源等として利用すること。

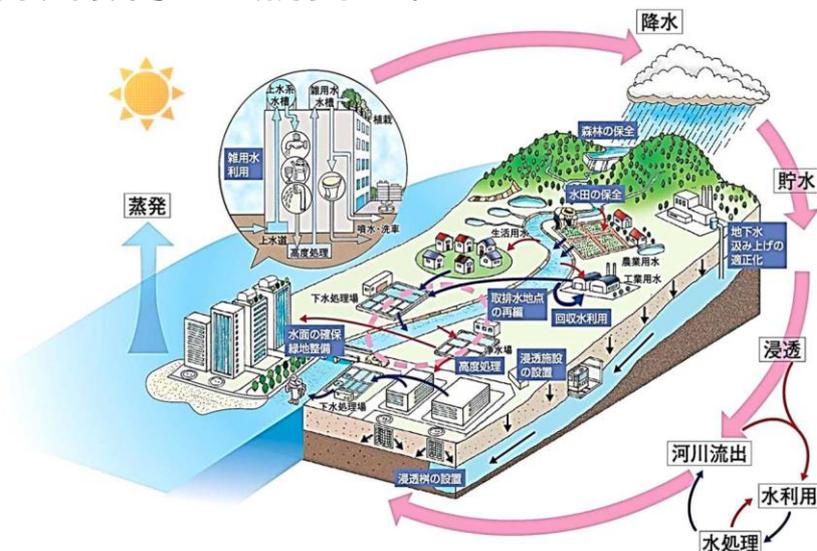


図1 健全な水循環の概念図

出典「内閣官房水循環政策本部事務局（2017）：平成 29 年版水循環白書について」

【水田の地下水涵養機能】

水田は、我が国の水循環において重要な役割を担っています。

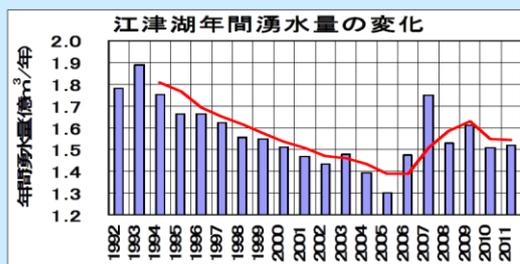
熊本地域では、江津湖（えづこ）の湧水量など、地下水資源量の長期的な減少が問題となっていたことから、2004年より、白川中流域の水田の地下水涵養機能を活かした転作田水張事業を開始しました。その後、江津湖の湧水量は2005年頃から下げ止まり、現在は横ばいから緩やかな回復傾向にあることから、転作田水張事業が一定の効果をもたらしたと考えられています。

地下水かん養断面図

資料：大菊土地改良区



【江津湖の湧水量経年変化】



資料：九州東海大学

【湛水田による涵養量の推移】

湛水田			
年	湛水面積 (ha)	湛水日数	涵養量(万m ³)
2004年	187	35.1	920
2005年	227	38.6	1000
2006年	261	46.6	1598
2007年	316	45.4	1879

資料：九州東海大学

図2 水田の地下水涵養機能を活かした地下水涵養施策の事例

出典「農林水産省農村振興局(2016)：食料・農業・農村政策審議会
農業農村振興整備部会報告 農業水利について」より抜粋・加筆修正

【地下水涵養量の推計】

蓄積した地下水使用量と地下水位のデータを地域全体で集約し、気象や河川取水量などのデータと組み合わせ、タンクモデルや数値シミュレーションモデルなどを用いた地下水解析を行えば、水田からの地下水涵養量を推計することができます。

図3は、タンクモデルを用いた地下水涵養量推計の事例ですが、地域ごとに“降雨・かんがい”から“浸透・流出”に至る水循環をタンクへの水の出入りで表現し、地下水の主流向を踏まえて隣接する地域をつなぎ合わせ、地域全体をモデル化したものです。この事例では、水田からの地下水涵養量が、かんがい期で13~23mm/日であることが推計されました。

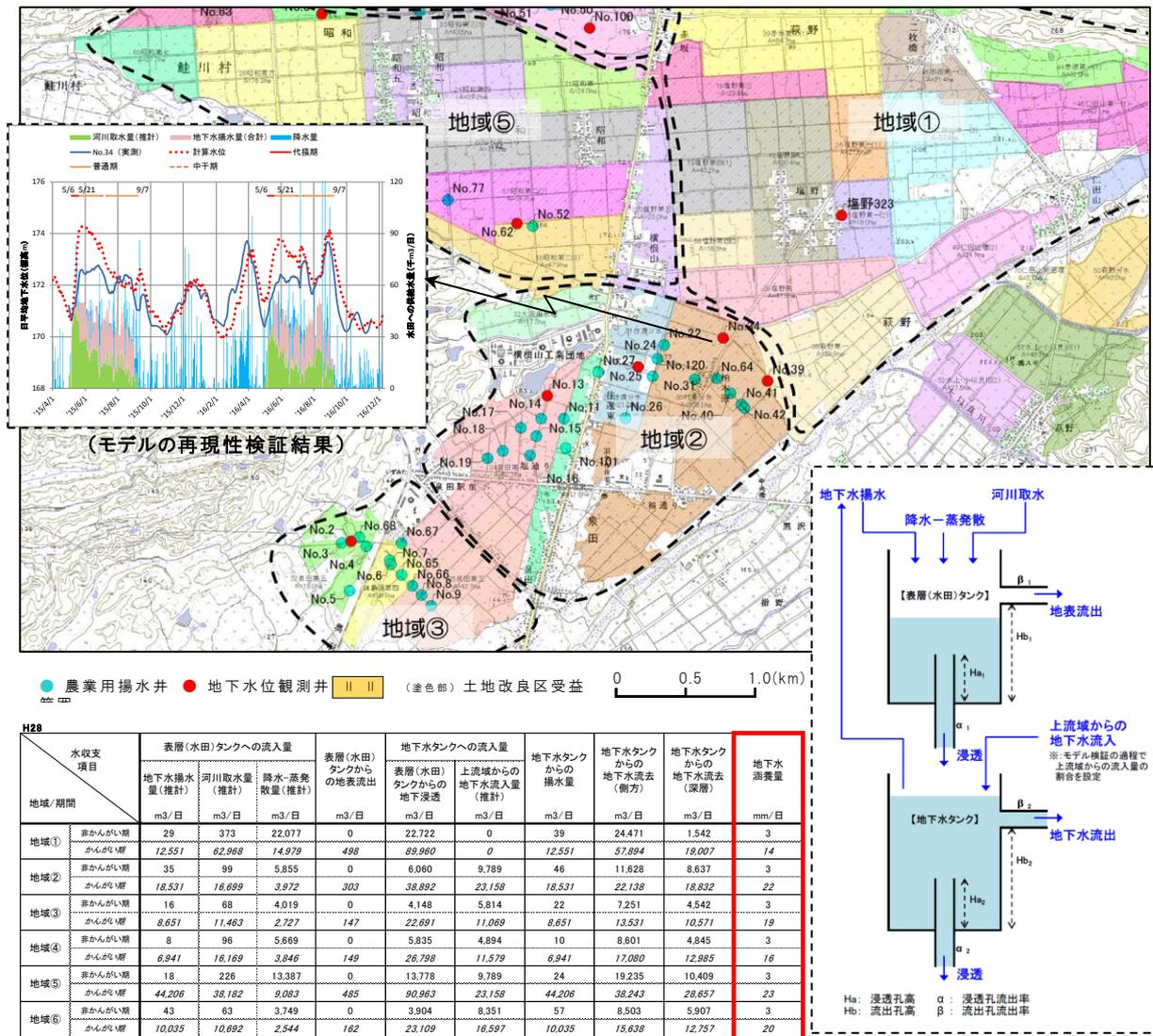


図3 地下水解析による地下水涵養量推計の事例

【農業用地下水利用地域における地下水障害】

農林水産省の実施した「第5回農業用地下水利用実態調査」によれば、地下水の状態について回答のあった農業用地下水利用地帯の514市町村等（無回答を除く、複数回答のべ数）のうち、120市町村（23%）で地下水障害があるという回答でした。このうち、もっとも多い地下水障害は、地下水位低下の74市町村（14%）でした。

地下水の使いすぎが、原因の一つである可能性が考えられます。

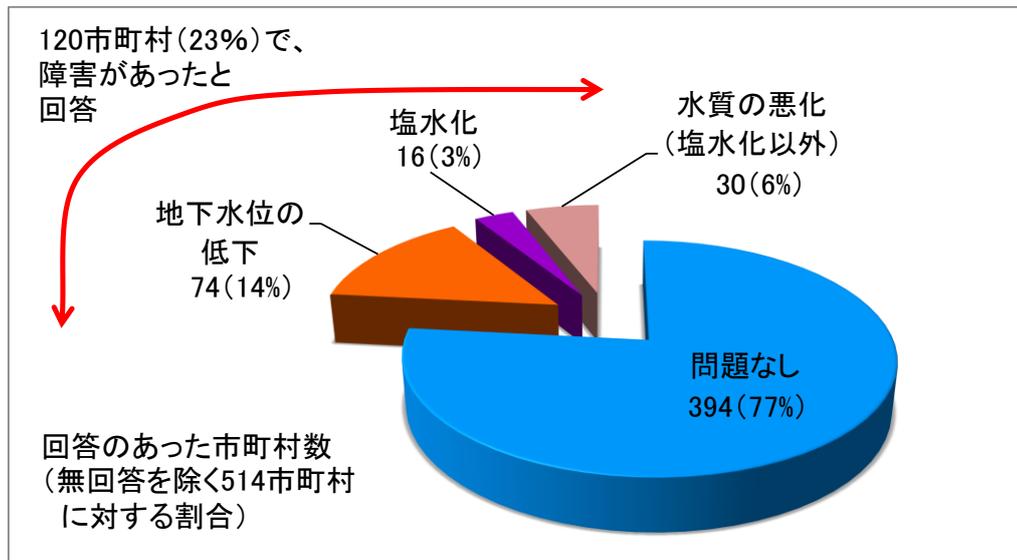


図4 農業用地下水利用地域における地下水障害の状況

出典「農林水産省農村振興局(2011):農業用地下水の利用実態
-第5回農業用地下水利用実態調査の概要-」を基に作成

【地下水の使用量の推計精度】

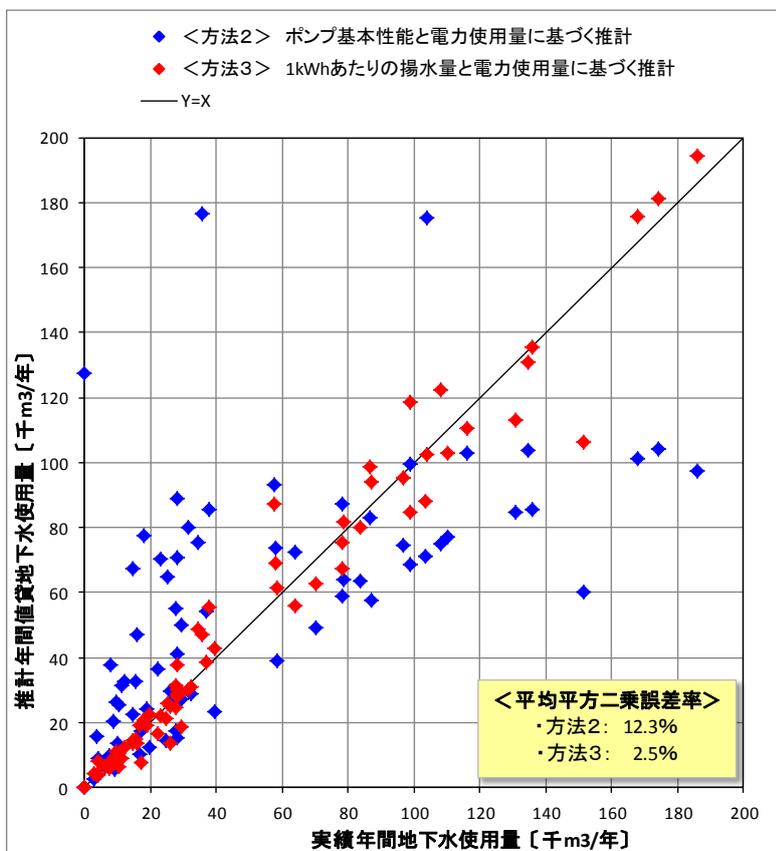
図5は、本編で紹介した地下水の使用量の推計方法（方法2および3）について精度検証をした調査事例です。42箇所（H27年度：39箇所、H28年度：37箇所）の農業用井戸について、単位時間あたりの揚水量の測定と磁界センサー（右写真）によるポンプの稼動時間の測定から求めた実績年間地下水使用量と、方法2（ポンプ基本性能（吐出量・定格出力）と電力使用量に基づく推計）および方法3（1kWhあたりの揚水量と電力使用量に基づく推計）により求めた推計年間地下水使用量を比較しています。

同図によれば、推計値の実績揚水量との誤差は、方法2に比べ、方法3が小さくなりました。

ひと手間かけて、1kWhあたりの揚水量を現地測定すれば、ポンプ劣化などに起因する誤差を気にせず、より精度の高い地下水の使用量の推計ができることがわかります。



写1 磁界センサー



平均平方二乗誤差率 【RMSPE (Root Mean Square Percentage Error)】

数値予測問題における精度評価指標の1つ。予測値が真値からどの程度乖離しているかを示す指標値。誤差率が低いほど、真値からの乖離が少なく、優れていることをあらわす。

$$RMSPE = \sqrt{\frac{100}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{f_i - y_i}{y_i} \right)^2}$$

ここで、 n ：標本数、 f_i ：予測値、 y_i ：真値

図5 地下水使用量の推計精度の比較

【自記水位計による地下水位の測定】

より短い時間間隔で、より精密な測定を行う場合には、自動で地下水位を測定できる自記水位計が用いられます。

自記水位計も様々なタイプがありますが、昨今は、圧力（水圧）式のセンサーとロガー（記録装置）を一体化した投げ込み型のものが主流となっています（右写真）。



写2 投げ込み型圧力式
自記水位計（例）

この型式の自記水位計の場合、井戸底に着底しないよう、自記水位計を井戸天端から井戸内の水面下にワイヤー等で吊るし、センサーにかかる圧力（水圧）を測ります。地上部に観測設備を必要としないため、比較的簡単に設置することができます。

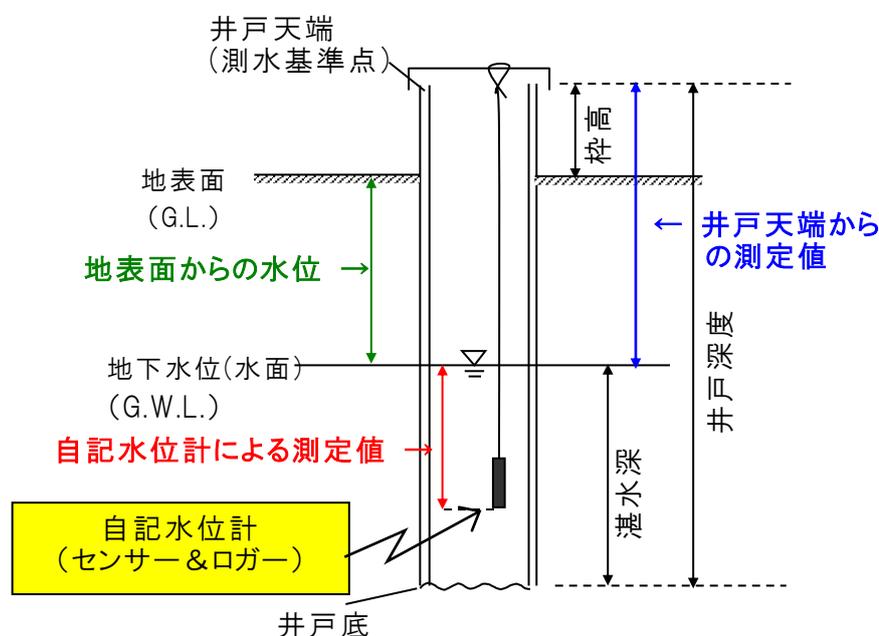


図6 自記水位計による地下水位測定の概要



写3 自記水位計の
データ回収

測定データは、専用のデータ回収器やソフトをインストールしたPCを使って、回収します。

このとき、自記水位計が正確に圧力（水圧）を測定できているかを確認するため、手測式水位計で測水基準点からの地下水位を測定します。

回収後は自記水位計を元の位置に戻します。

（注）自記水位計本体の取り扱い、記録開始・記録時間間隔等の記録設定、回収したデータの処理等の詳細は、機器により異なります。したがって、詳細は、各機器に付属しているマニュアルなどの資料を参照してください。

【水田地域における地下水位変化の特徴】

水田地域におけるかんがい期の地下水位は、地下水の汲み上げと水田を通じた地下水涵養の影響を受け、特徴的な変化を示します。

図7は、深井戸（深い帯水層）から地下水を汲み上げて水田かんがいに使用している地域の事例です。かんがい期になると深井戸の水位は大きく低下し、浅井戸（浅い帯水層）の地下水位は上昇します。深井戸の水位低下は地下水の汲み上げによるもので、浅井戸の水位上昇は水田からの地下水涵養によるものです。

浅井戸から地下水を汲み上げて水田かんがいに使用している場合、地下水の汲み上げと水田を通じた地下水涵養が、同じ帯水層で同時に起こるため、地下水位の変化は、より複雑なものとして現れます。

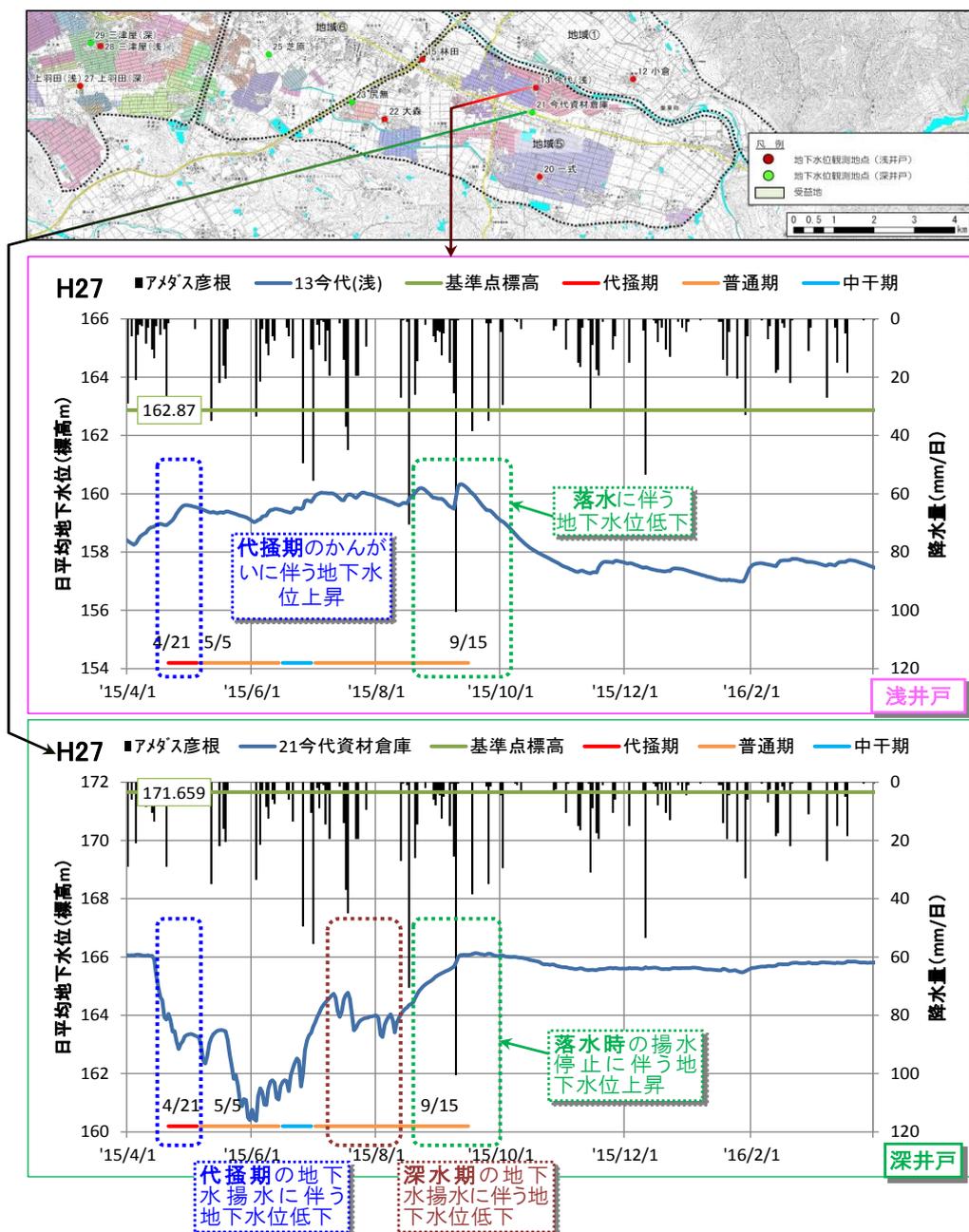


図7 地下水位観測結果(例)



(2) 用語解説

あ

塩水化

沿岸部の帯水層に海水が浸入する現象を海水浸入又は塩水浸入と言い、その結果として地下水の塩分濃度が高くなることを言う。地下水の過剰な汲上げに伴う水位低下に起因する。地層中の化石塩水が起源となる場合もある。

さ

蒸散（蒸発・蒸発散）

水は水面および地表面から蒸発するとともに、植物体内を通じて主に葉面から蒸発が起こる。どちらも同じ蒸発現象であるが、後者は生体が関与したプロセスであることから、「蒸散」という。両者を合わせ「蒸発散」という。

全揚程

ポンプが吸い上げる高さ（吸込揚程）とポンプから押し上げる高さ（吐出揚程）を足したものを実揚程といい、途中配管やバルブ等の抵抗を全て考慮したものを全揚程という。高さ（m）の単位で表す。

た

帯水層

水を通しやすく、地下水が流動しやすい地層のこと。代表的な地層として、砂礫層、砂層などがある。

タンクモデル

流出解析における集中型概念モデルの一種。流域を側面や底面に流出孔を持つ複数のタンクの連結とみなし、入力値として降雨の時間変化を与え出力値として、

各タンク側面からの流出量の和などにより河川流出量を計算するもの。帯水層への地下水涵養量の算定などにも応用されることがある。

地下水解析

地下水の流れを何らかの方法で模擬（モデル化）し、流れ場への水の流入・流出を定量的に把握する方法。一般に、電算機を用いて支配方程式を近似的に解く数値シミュレーションモデルや流れ場を側面や底面に流出孔を持つ複数のタンクの連結とみなすタンクモデルが用いられる。

地下水涵養

降水や地表水が地下に浸透して地下水流動系に付加される作用。一般には降水による涵養がその大半を占めるが、河川水・湖沼水の浸透、水田からの浸透、人工涵養施設（浸透枘など）からの浸透、上下水道の漏水なども含まれる。

地下水管理

地下水の揚水・利用が帯水層や環境に悪影響を与えないように、地下水の水量や水質を監視し、適切な管理を行うこと。

ま

水循環

地球上の水が太陽エネルギーを受けて大気、陸地、海洋の間を降雨、浸透、流出、蒸発散の過程を通して循環する現象のこと。人為的な利用・輸送なども含めて水循環系とも言う。

(3) 様式例

■ 地下水位観測記録一覧表

〔単位： 測水基準点からの深さ (m) 〕 ※ 基準日はかんがい期間初日 (4/20) から月毎とする。

		井戸名：												地区名：	
年		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
	基準日※	1/20	2/20	3/20	4/20	5/20	6/20	7/20	8/20	9/20	10/20	11/20	12/20		
2018年	測定日														
(H30)	測定値														
2019年	測定日														
(H31)	測定値														
2020年	測定日														
()	測定値														
2021年	測定日														
()	測定値														
2022年	測定日														
()	測定値														
2023年	測定日														
()	測定値														
2024年	測定日														
()	測定値														

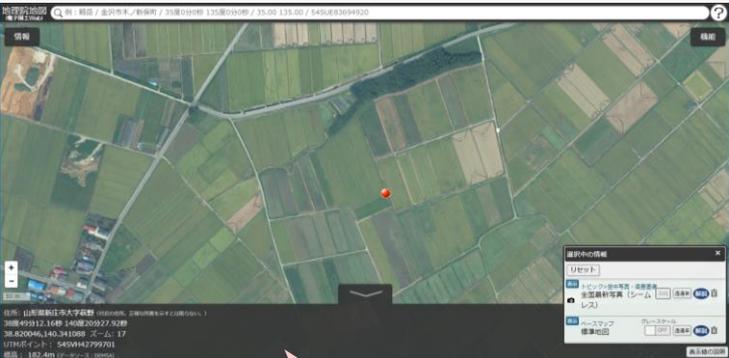
■ 地下水使用量観測記録一覧表

〔単位： 検針日から検針日までの揚水量 (m3)〕 ※ 基準日は検針日 (毎月10日) から半月後とする

年	井戸名：												地区名：		
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
	基準日*	3/25	4/25	5/25	6/25	7/25	8/25	9/25							
2018年	検針日														
(H30)	測定値														
2019年	検針日														
(H31)	測定値														
2020年	検針日														
()	測定値														
2021年	検針日														
()	測定値														
2022年	検針日														
()	測定値														
2023年	検針日														
()	測定値														
2024年	検針日														
()	測定値														

台帳作成日： 年 月 日

井戸台帳

井戸名		管理者		
井戸所在地		緯度/経度		
		(緯度)	度 分 秒	
		(経度)	度 分 秒	
井戸	さく井年	明治・大正・昭和・平成・ 年頃(西暦 年頃)、 不明		
	さく井方法	1.ボーリング 2.打ち込み 3.手掘り 4.湧水溜り 不明		
	井側材料	1.鋼管 2.塩ビ管 3.ヒューム管 4.石積 不明		
	取水方法	1.水中ポンプ 2.渦巻・自吸ポンプ 3.エンジンポンプ 4.家庭用ポンプ 5.手押しポンプ 6.自噴 7.その他()		
	井戸構造	井戸深度(D)	m	井戸口径(L) mm
		井戸枠高	m	入レタ深度 m ~ m
	測水基準点	標高	m	
ポンプ	ポンプ仕様	メーカー型式	定格出力 kW	
		揚程(H)	m 吐出口径 mm	
		吐出量(Q)	L/min	
利用状況	用途	1.農業用(水田) 2.農業用(畑・果樹園) 3.農業用(施設園芸) 4.畜産用 5.池() 6.生活雑用(洗濯・風呂・トイレ・散水・洗車) 7.その他(水草栽培) 8.不明		
	受益面積	水田 ha、畑・果樹園 ha、施設園芸 ha		
	頻度	1.年中/毎日(主たる水源として) 2.かんがい期中/毎日(主たる水源として) 3.年中/時々(補助的な水源として) 4.かんがい期中/時々(補助的な水源として)		
井戸の位置図		メモ		
		<p>[緯度経度の取得方法] スマートフォンのアプリ ●●、 スマートフォンの機種： ●●●</p> <p>【例】 表上部の緯度経度や 中段の標高の値を、 確認した手段等</p>		
写真				
[井戸の近景]	<p>【例】 地理院地図にて位置 を作図し、画面キャプ チャを貼付した場合</p>		[井戸の遠景]	

地域における井戸の配置図

井戸台帳をとりまとめ、地域における個人井戸／土地改良区の井戸等を、地図閲覧サイトを活用し、一元的に整理／管理することが可能です。

[下図：「地理院地図」にて、地域の井戸配置を確認] ※個別の井戸データはkml形式

