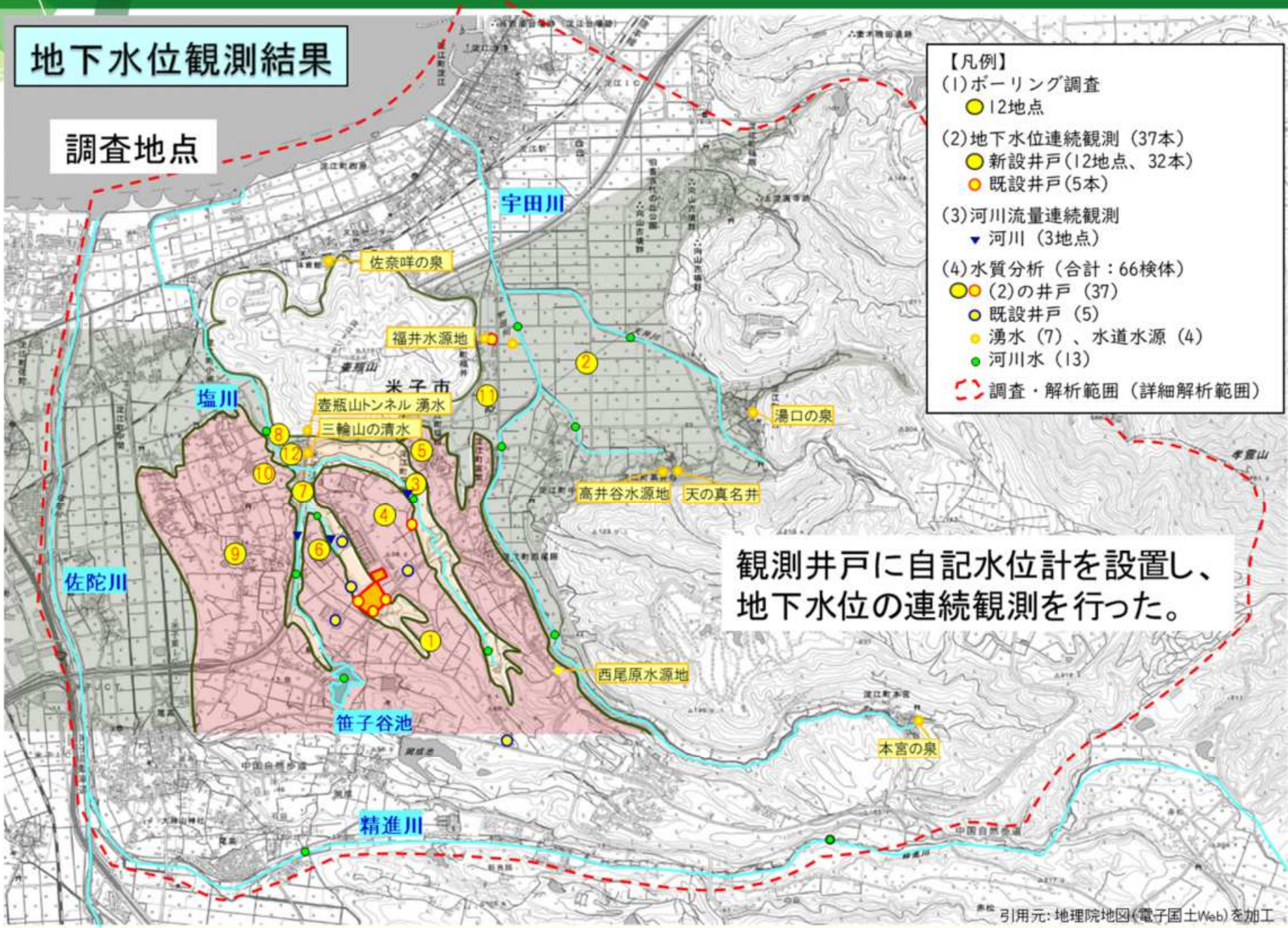


地下水位観測結果

調査地点

- 【凡例】
- (1)ボーリング調査
 - 12地点
 - (2)地下水位連続観測 (37本)
 - 新設井戸 (12地点、32本)
 - 既設井戸 (5本)
 - (3)河川流量連続観測
 - ▼ 河川 (3地点)
 - (4)水質分析 (合計:66検体)
 - (2)の井戸 (37)
 - 既設井戸 (5)
 - 湧水 (7)、水道水源 (4)
 - 河川水 (13)
- ⬇ 調査・解析範囲 (詳細解析範囲)

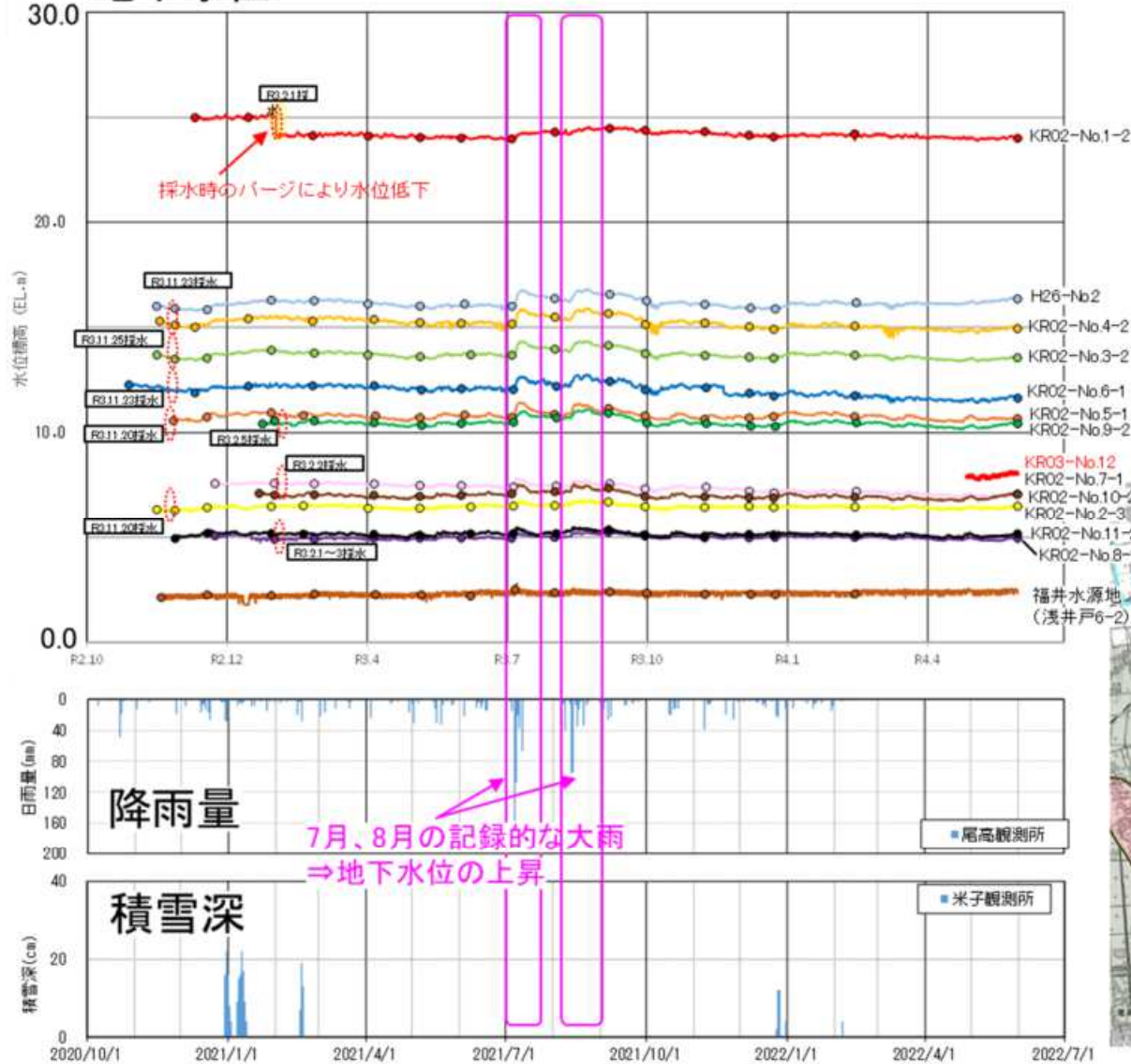


観測井戸に自記水位計を設置し、地下水位の連続観測を行った。

引用元: 地理院地図(電子国土Web)を加工

地下水位連続観測結果 第2帯水層

地下水位



凡例

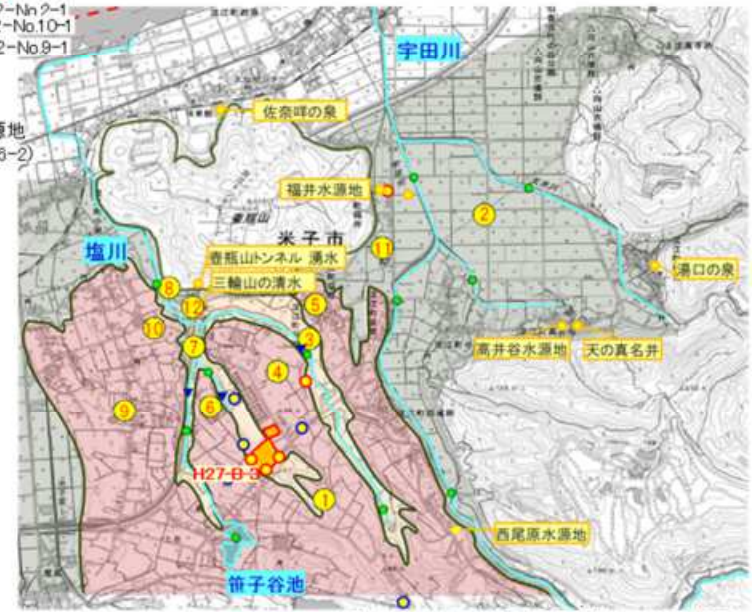
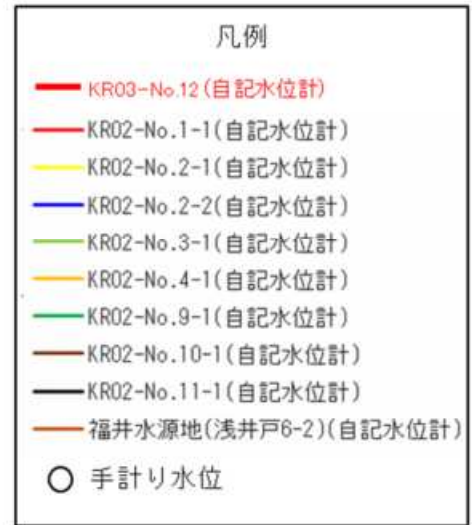
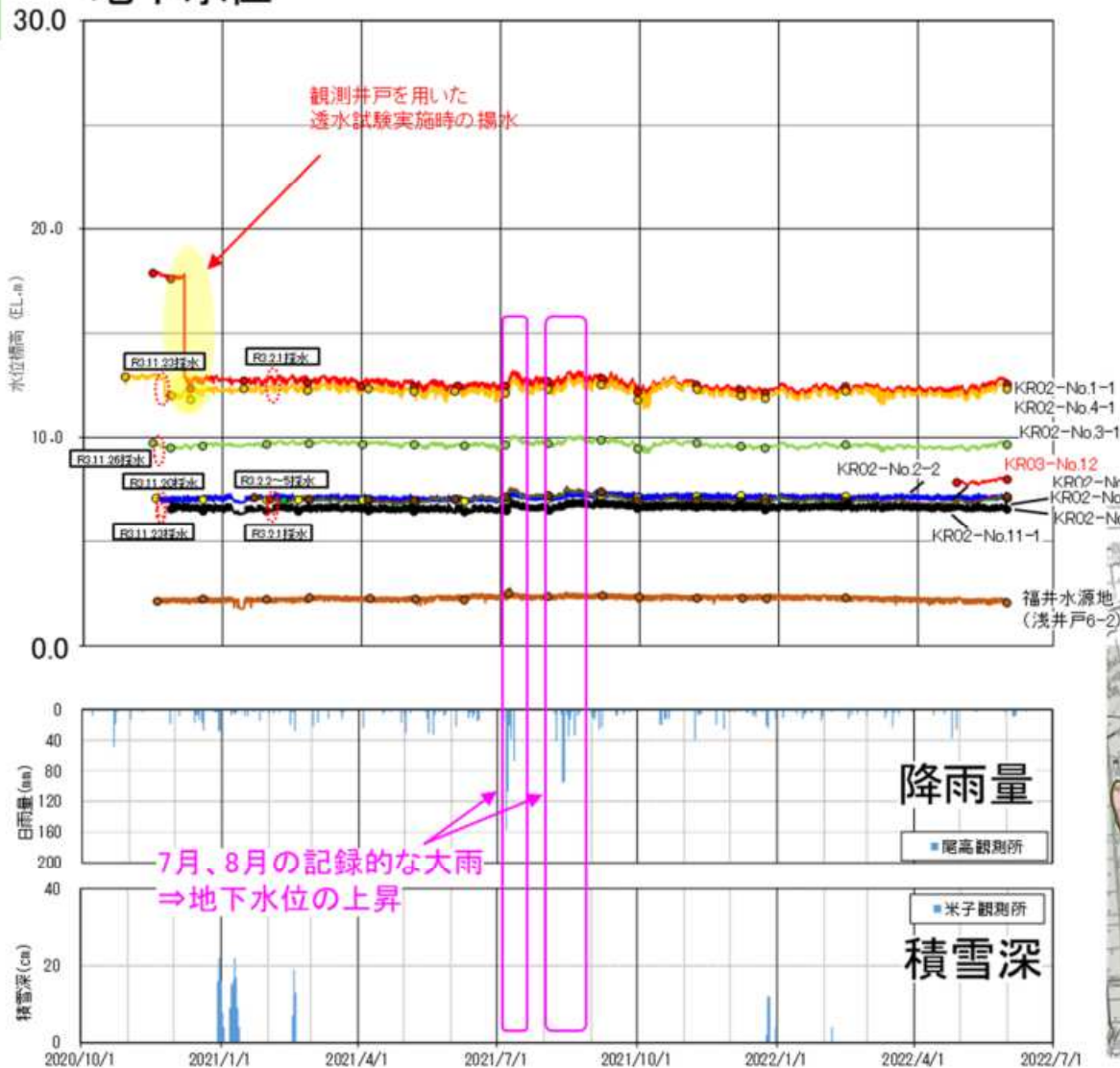
- KR03-No.12(自記水位計)
- KR02-No.1-2(自記水位計)
- KR02-No.2-3(自記水位計)
- KR02-No.3-2(自記水位計)
- KR02-No.4-2(自記水位計)
- KR02-No.5-1(自記水位計)
- KR02-No.6-1(自記水位計)
- KR02-No.7-1(自記水位計)
- KR02-No.8-1(自記水位計)
- KR02-No.9-2(自記水位計)
- KR02-No.10-2(自記水位計)
- KR02-No.11-2(自記水位計)
- H26-No.2(自記水位計)
- 福井水源地(浅井戸6-2)(自記水位計)
- 手計り水位



引用元: 地理院地図(電子国土Web)を加工

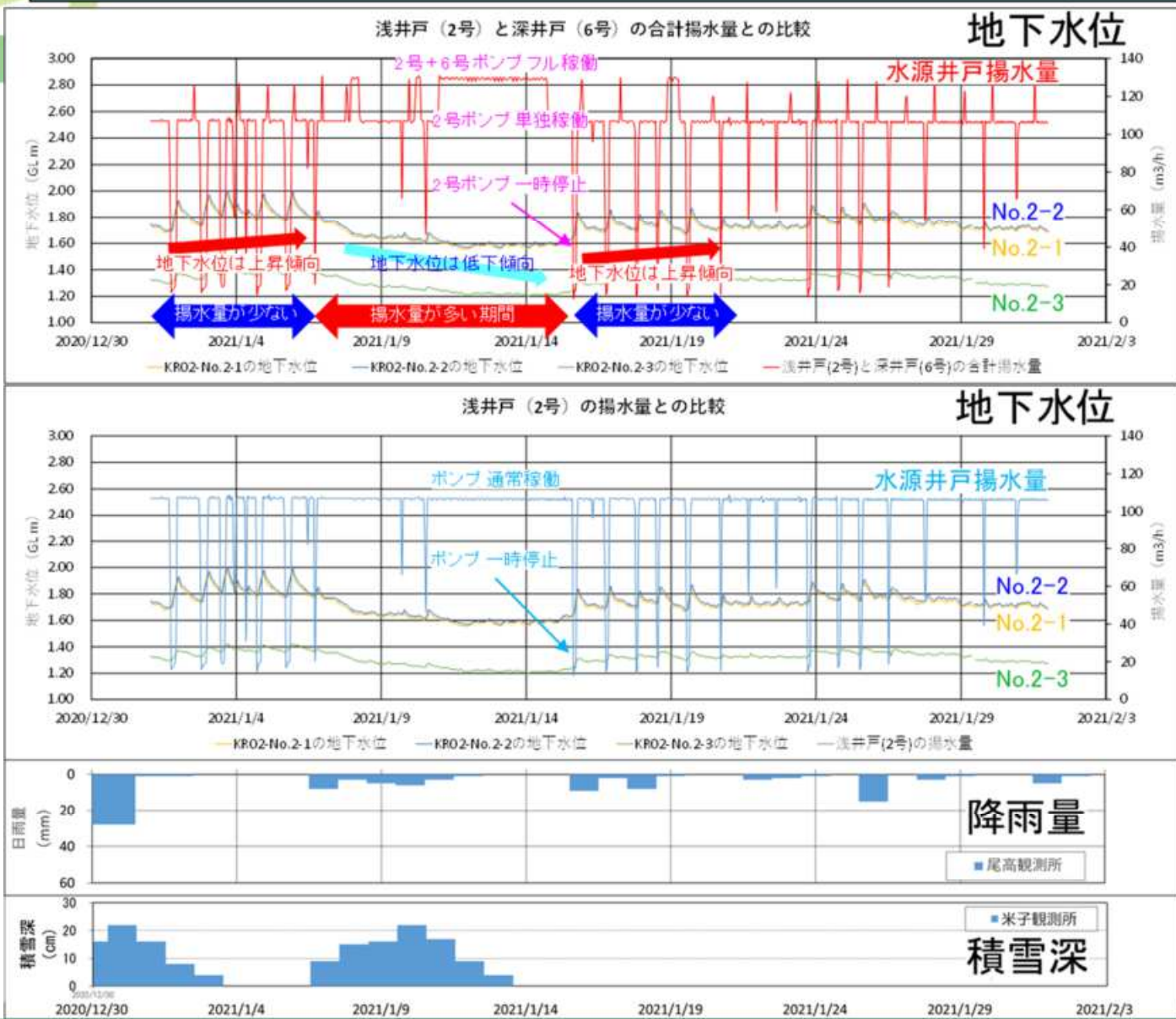
地下水位連続観測結果 第3帯水層

地下水位



引用元: 地理院地図(電子国土Web)を加工

観測井戸 (KR02-No.2地点) の地下水位の脈動と福井水源地水源井戸の揚水量の関係

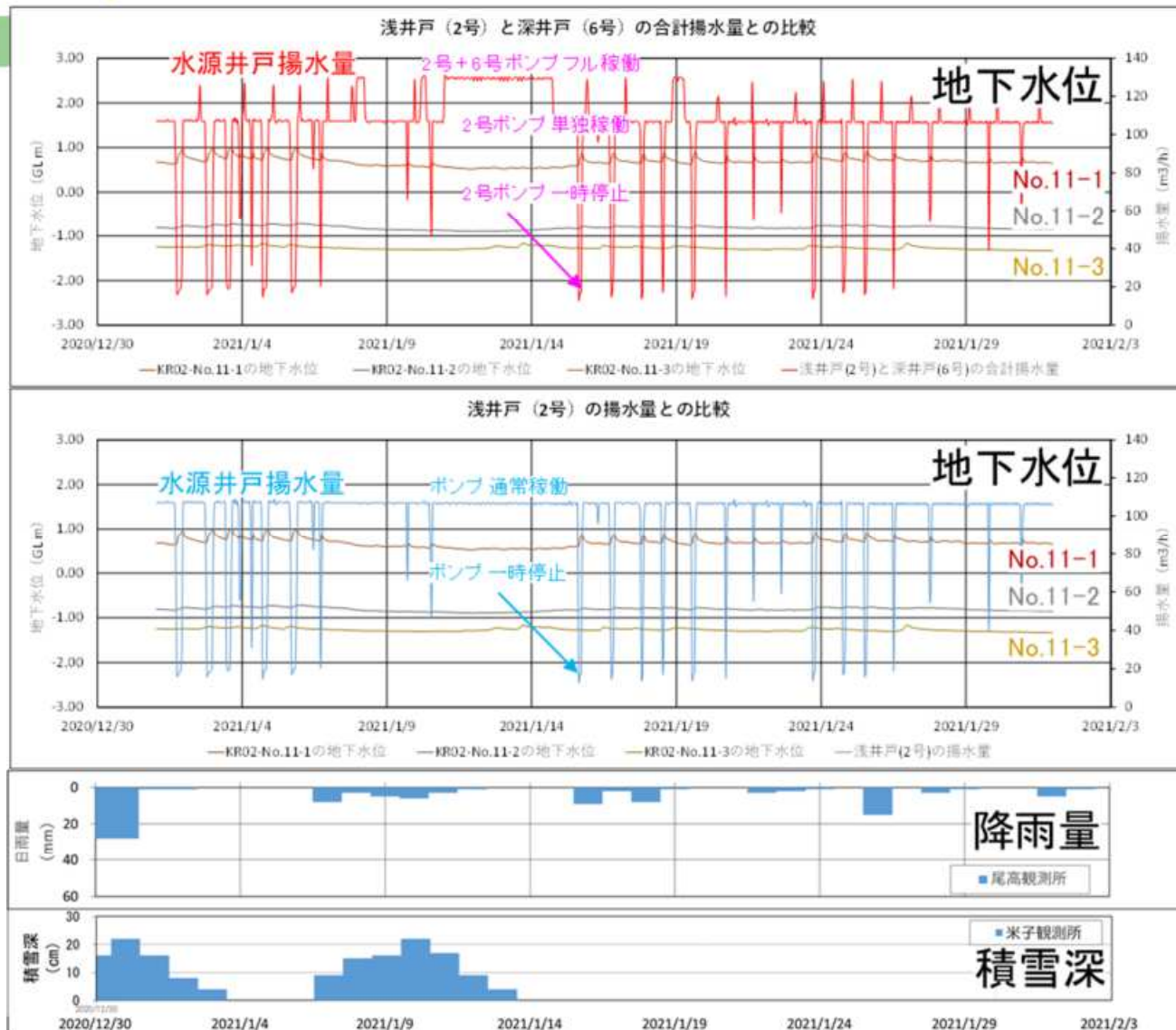


【地下水位変動の特徴】

- ① 観測期間中、No.2地点の全ての観測井戸の水位は地表面より高い(自噴井戸)。しかも、ストレナ深度の深いNo.2-1,2井戸の方が、浅い井戸 (No.2-3) より地下水位が高い。
- ② 観測期間中、No.2地点の全ての観測井戸の水位は、降雨量や融雪量(積雪深の減少期間)とはほぼ無関係。
- ③ 水源井戸の揚水量が増えるほど水位が下がり、その脈動とポンプの稼働状況のリズムは一致していることから、No.2地点の地下水位は、福井水源地水源井戸の揚水量に最も強い影響を受けていると考えられる。



観測井戸 (KR02-No.11地点) の地下水位の脈動と福井水源地水源井戸の揚水量の関係



【地下水位変動の特徴】

- ① 観測期間中、No.11地点の観測井戸の水位はストレナ深度の深い井戸ほど、より地下水位が高い。特に、No.11-1(第3帯水層)は地表面より地下水位が高く、自噴している。
- ② 観測期間中、No.11地点の全ての観測井戸の水位は、降雨量や融雪量(積雪深の減少期間)とはほぼ無関係。
- ③ 水源井戸の揚水量が増えるほど水位が下がり、その脈動とポンプの稼働状況のリズムは一致していることから、No.11地点の地下水位は、No.2地点と同様に、福井水源地水源井戸の揚水量に最も強い影響を受けていると考えられる。なお、深い帯水層ほど、その傾向は顕著である。

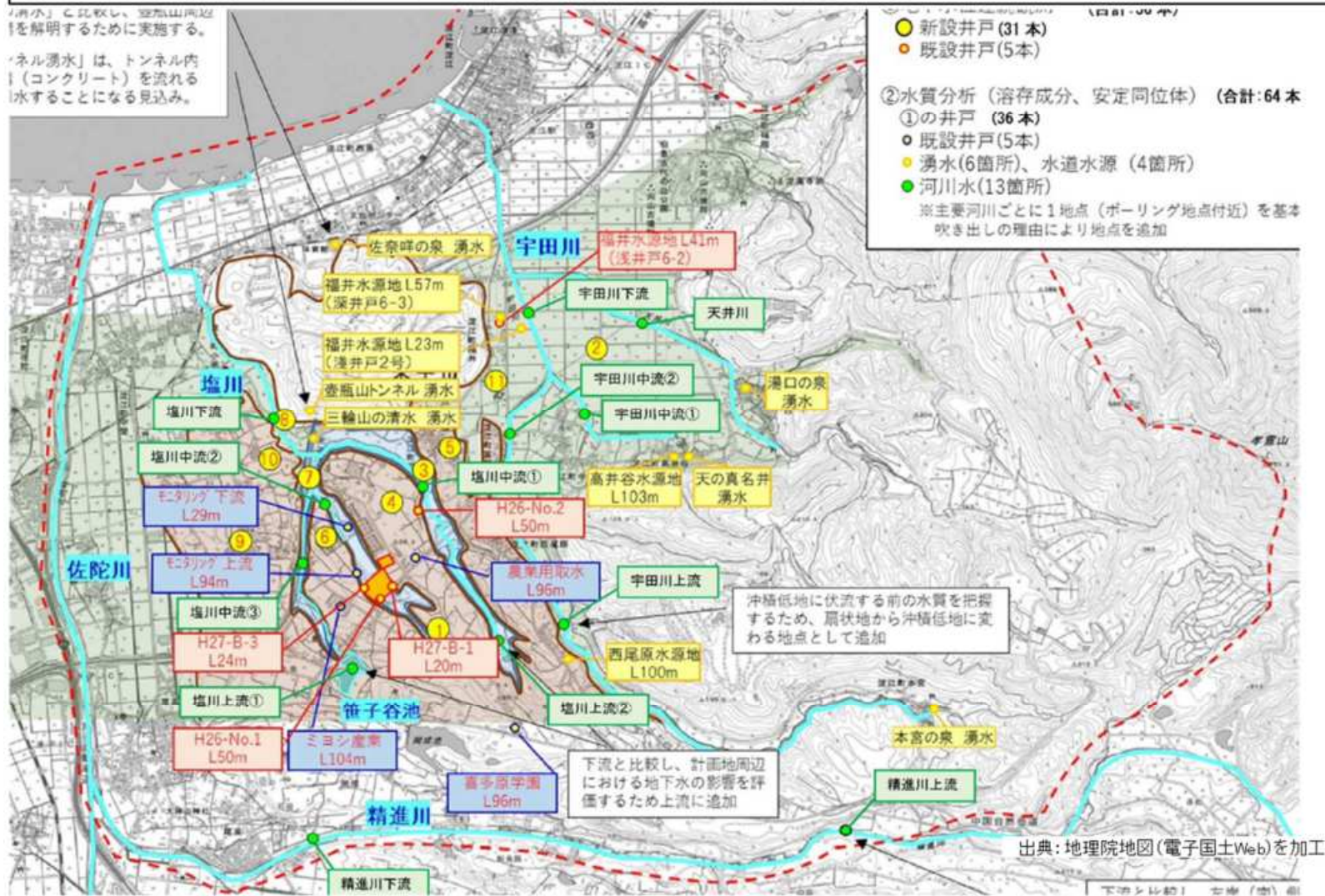


水質分析 調査内容・地点

水質分析は、新設井戸、既設井戸、既存井戸、湧水、水道水源、河川水を対象に、溶存イオン成分、安定同位体、トリチウム等を分析項目として実施した。

「湧水」と比較し、壺瓶山両辺を解明するために実施する。

「ネル湧水」は、トンネル内（コンクリート）を流れる水することになる見込み。



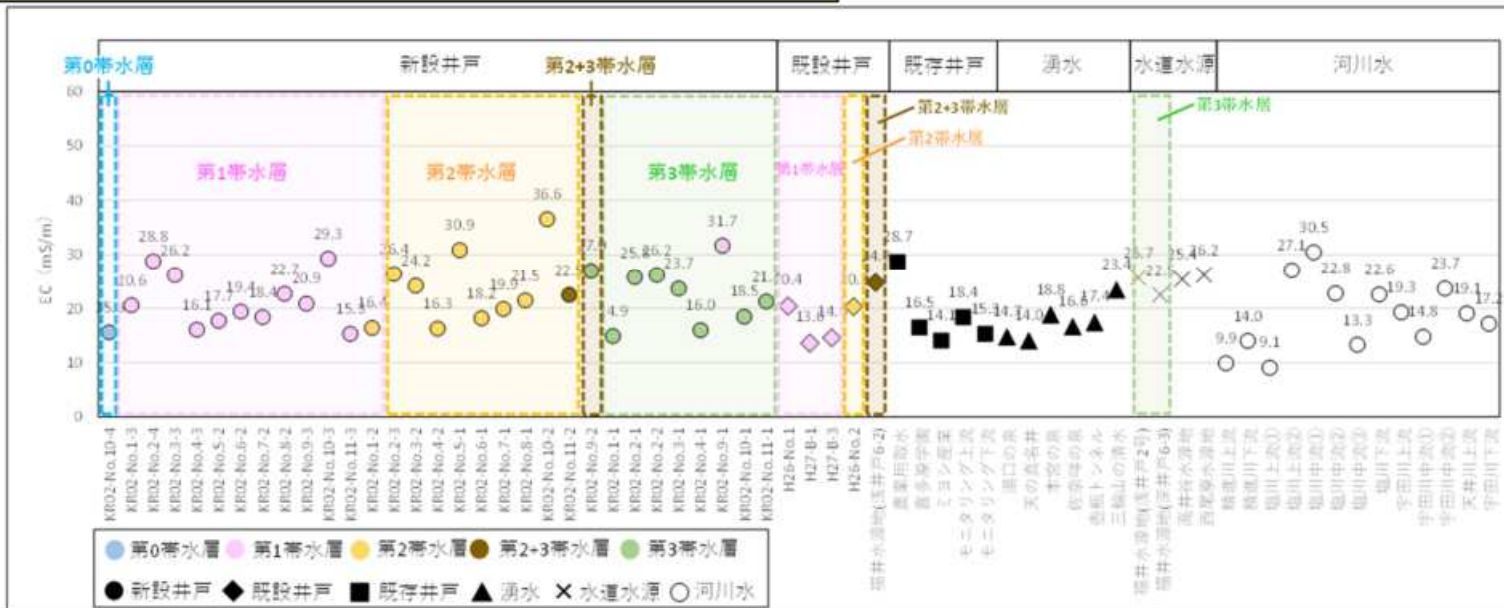
水質分析項目

- 水質分析は、調査地における湧水、地下水および河川水の水質の特性から地下水流動状況検討するうえでの基礎資料を得ること目的に下表に示す項目・目的・対象箇所を実施した。
- 採水は、2020年11月中旬～下旬、2021年2月初旬に実施した。No.12は、2022年5月に実施した。

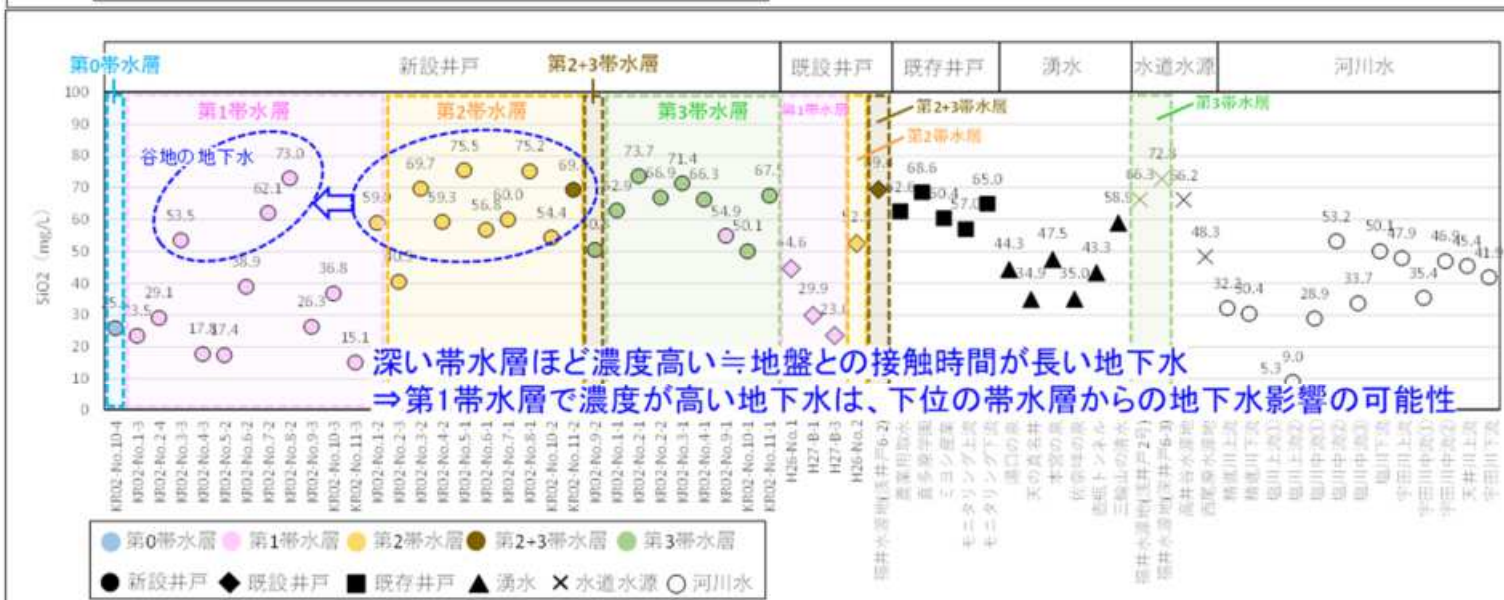
分析項目	目的	対象箇所
①水温、pH、電気伝導度(EC)	水質の基礎データ	新設井戸（観測井戸）：32箇所 既設井戸（観測井戸）：5箇所 既存井戸（揚水井戸）：5箇所 湧水※三輪山の湧水(R2.11、R4.5の2回)：7箇所 水道水源：4箇所 河川水：13箇所 合計66箇所
②溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)	地下水環境の酸化還元状態の把握	
③主要溶存イオン項目 陽イオン:Na ⁺ ,K ⁺ ,Ca ²⁺ ,Mg ²⁺ , 陰イオンCl ⁻ ,HCO ₃ ⁻ ,SO ₄ ²⁻ ,NO ₃ ⁻	水質特性の把握 (ヘキサダイアグラム,トリニアダイアグラムによる解析)	
④二酸化珪素(シリカ:SiO ₂)	岩石からの溶存成分の特徴把握	
⑤酸素(δ ¹⁸ O)・水素(δD)同位体比	地下水の源となった降雨の特徴把握	
⑥トリチウム(³ H)濃度	地下水の新しさ、古さの指標	
⑦CFCs濃度 (クロロフルオロカーボン類)	比較的新しい地下水における年代測定	
		※ No. 12は、分析項目⑤の実施無し 新設井戸（観測井戸）：17箇所 既設井戸（観測井戸）：2箇所 既存井戸（揚水井戸）：4箇所 湧水：5箇所 水道水源：4箇所 合計32箇所

水質分析結果(EC:電気伝導度、SiO₂:二酸化ケイ素(シリカ))

EC
電気伝導度

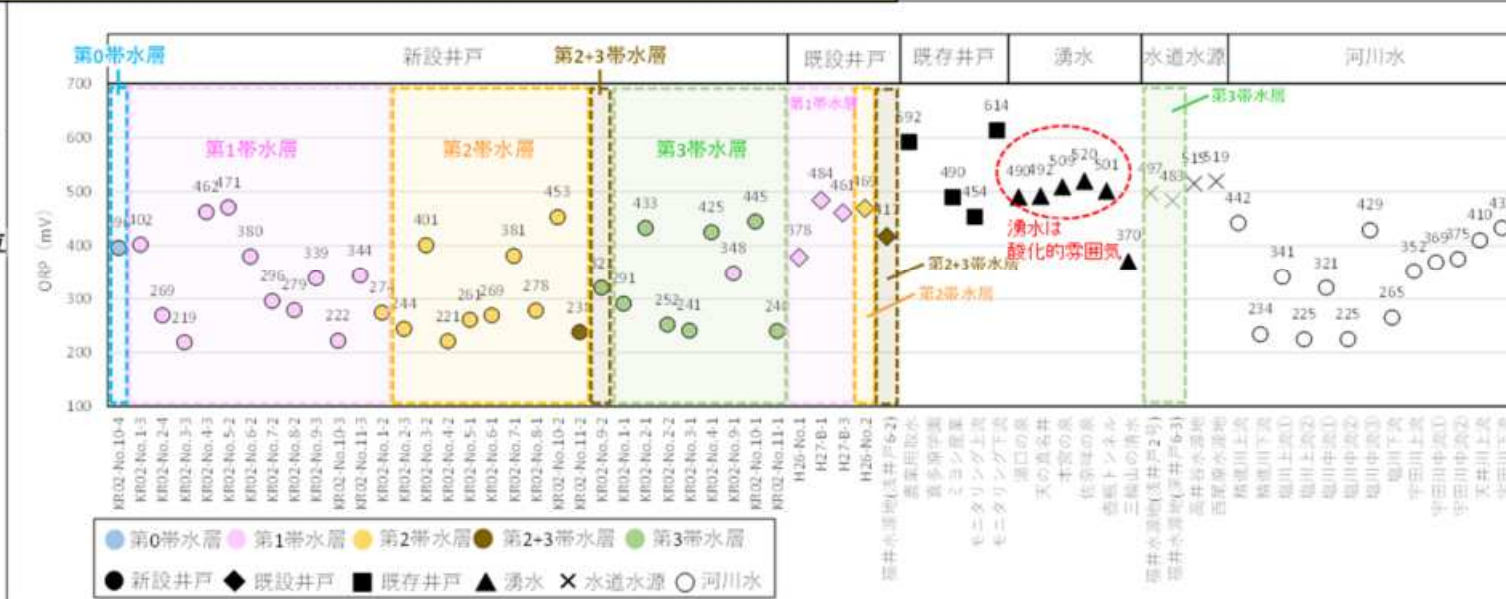


SiO₂
二酸化珪素
濃度



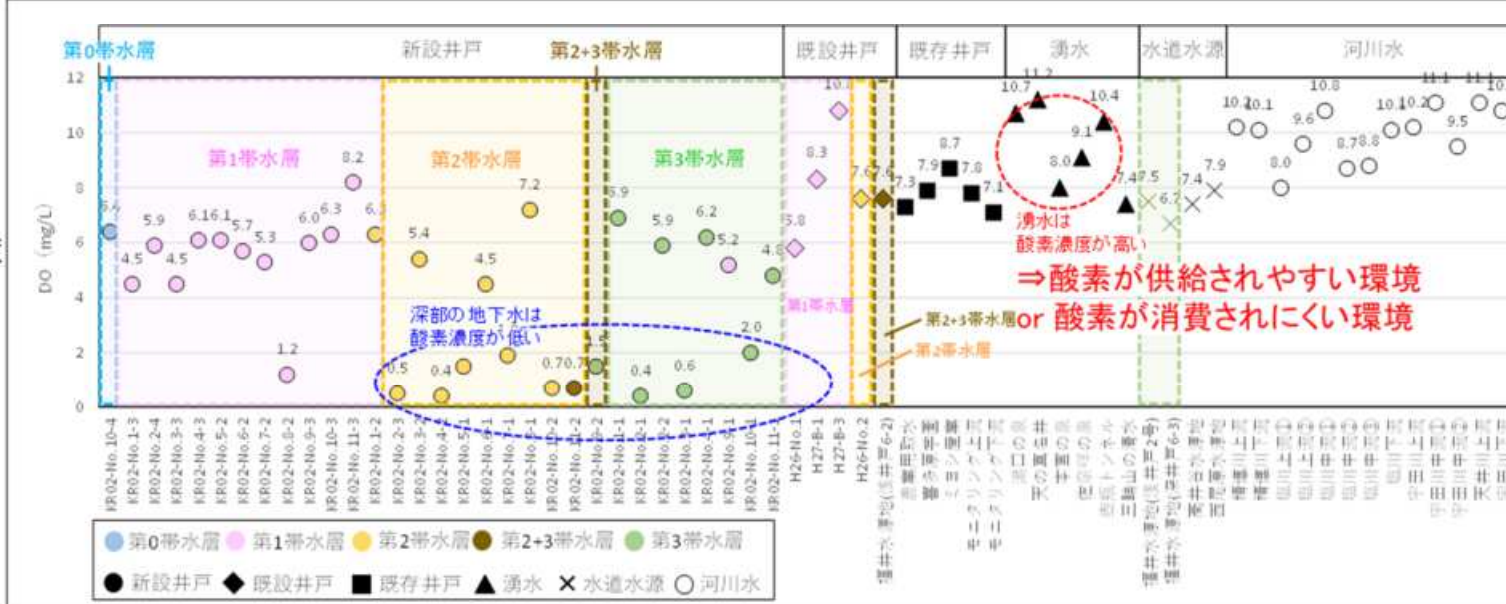
水質分析結果 (ORP:酸化還元電位、DO:溶存酸素量)

ORP
酸化還元電位



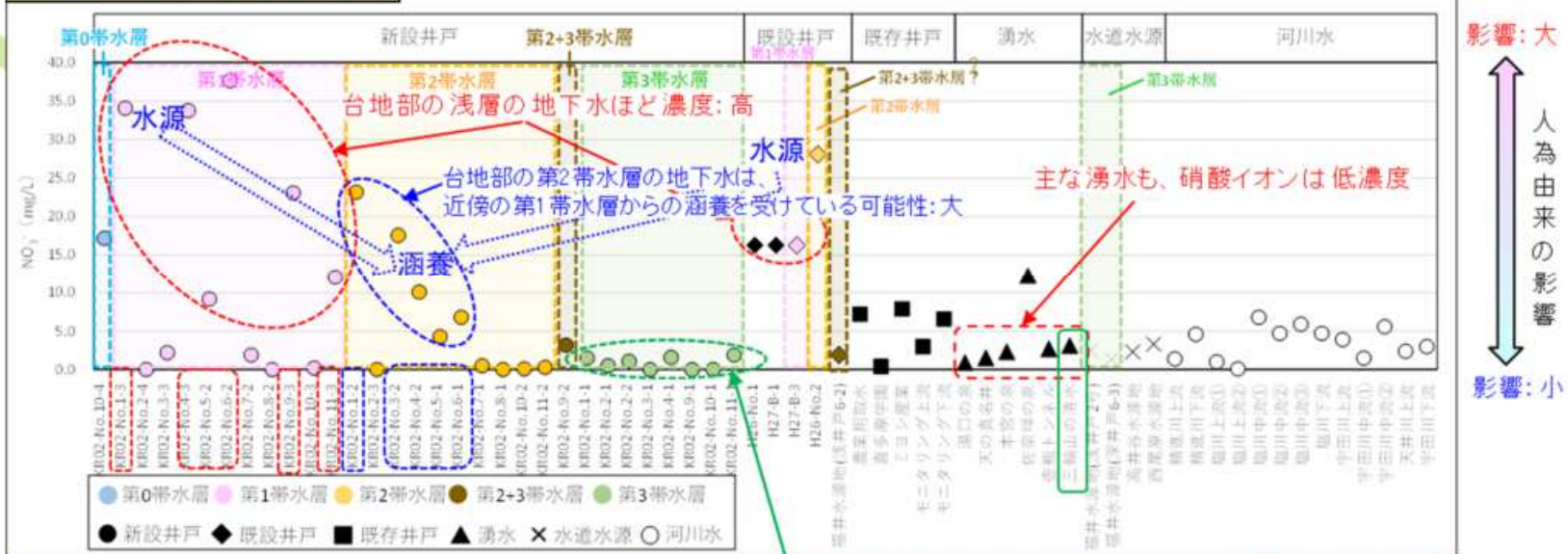
↑ 酸化的雰囲気
↓ 還元の雰囲気

DO
溶存酸素濃度



↑ 酸素濃度高い
↓ 貧酸素

硝酸イオン濃度

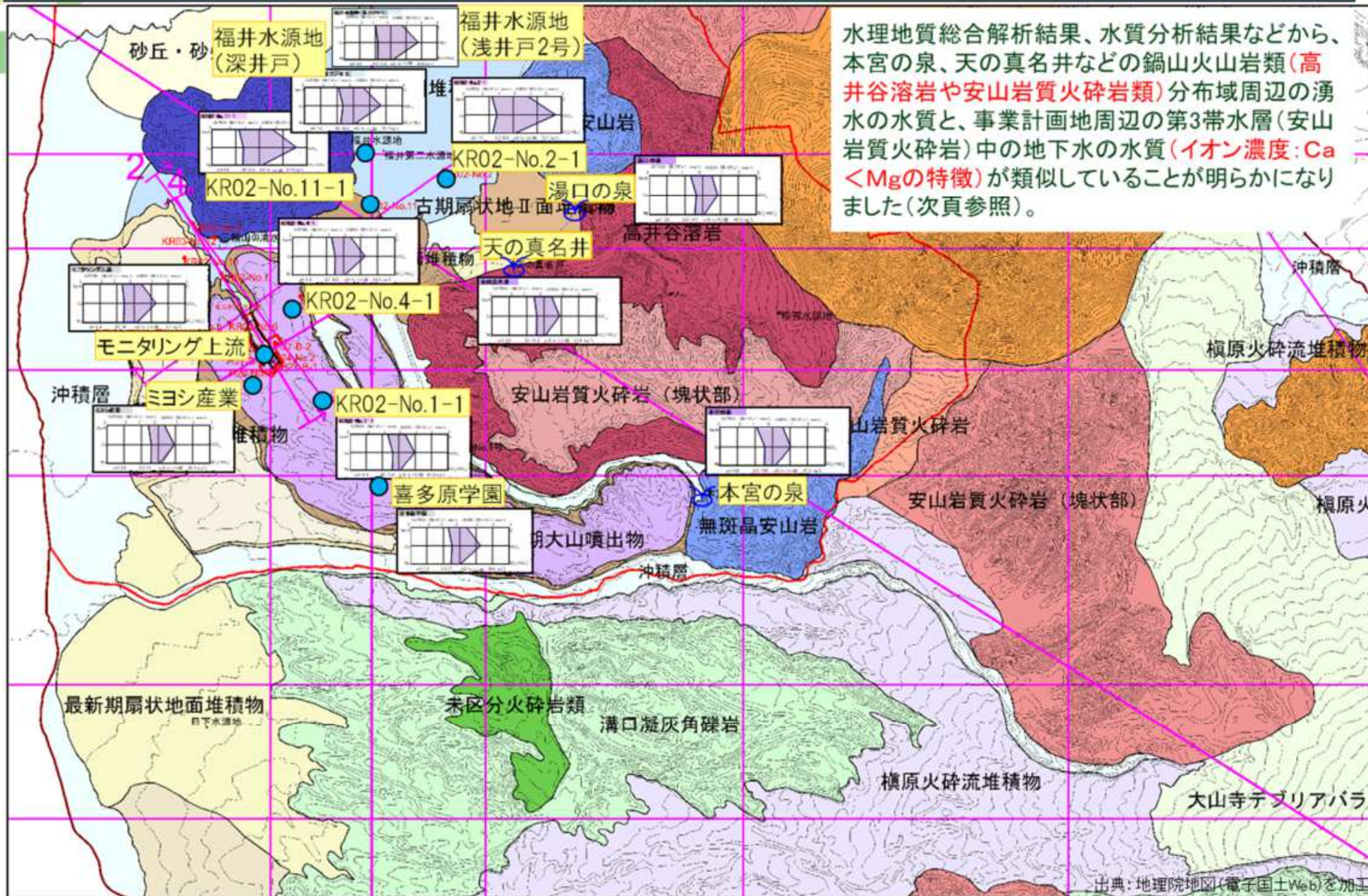


イオンバランス (Total Cation / Total Anion)



- 【調査・解析の結果】**
1. 水質分析(硝酸イオン濃度)の結果、第2帯水層の地下水は近傍の地表の影響を受けている地点もあるが、第3帯水層の地下水はその影響を受けていないことがわかりました。
 2. 台地部の第2帯水層の地下水は、近傍の第1帯水層からの涵養を受けている可能性が大きいことがわかりました。

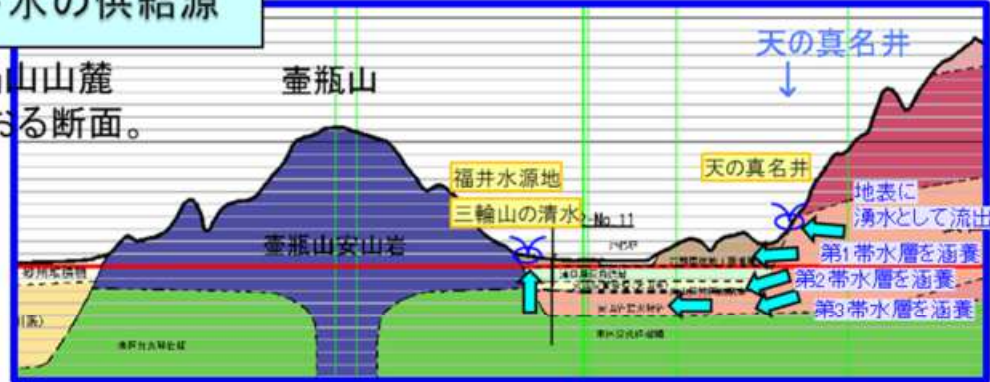
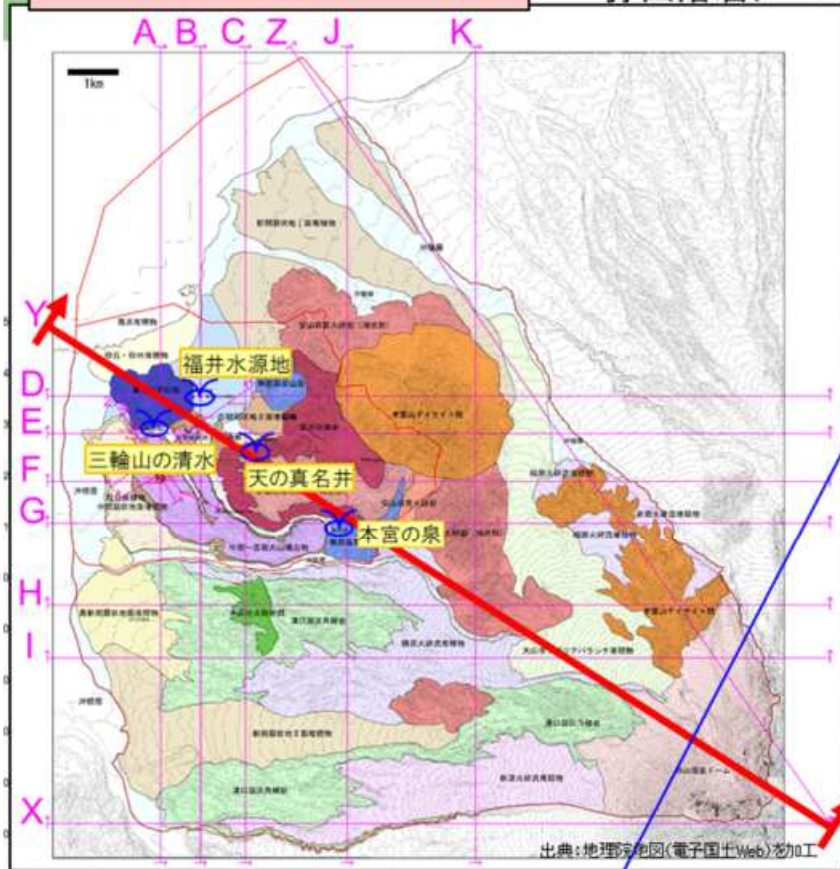
第三帯水層(安山岩質火砕岩)と湧水の地下水水質の類似性



安山岩質火砕岩＝湧水＋第1～3帯水層の地下水の供給源

水理地質断面図(断面Y)

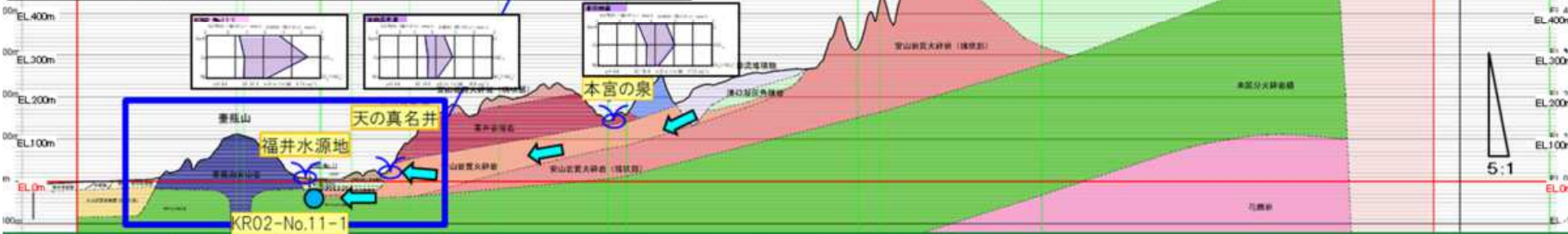
・米子平野～壺瓶山～鍋山山麓
～弥山溶岩ドームをとる断面。



地層時代	地層名	色
第四紀	現代堆積物	
	沖積層	
	新第四紀堆積物	
	沖積・砂の堆積物	
	礫物混入砂の堆積物	
	礫石堆積物	
	礫層	
	礫層状地層	
	礫層状地層	
	礫層状地層	
第三紀	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
	大山系下三白土層	
白垩紀	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
	壺瓶山安山岩	
白垩紀	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	
	弥山溶岩ドーム	

※縦横比を5:1に縮小 南東→

(前頁より)大山(弥山)山腹や孝霊山・鍋山山腹付近の降雨が浸透して地下水となり、高透水性の安山岩質火砕岩(事業計画地付近で第3帯水層を形成)を淀江平野や事業計画地の地下深部に流下し、有名湧水や事業計画地地下の第3帯水層の地下水を涵養していることが分かりました。



第2・第3帯水層と主要湧水・水源の水質比較図

地下水位観測日
令和4年5月31日、6月1日

つばかめやま
壺瓶山

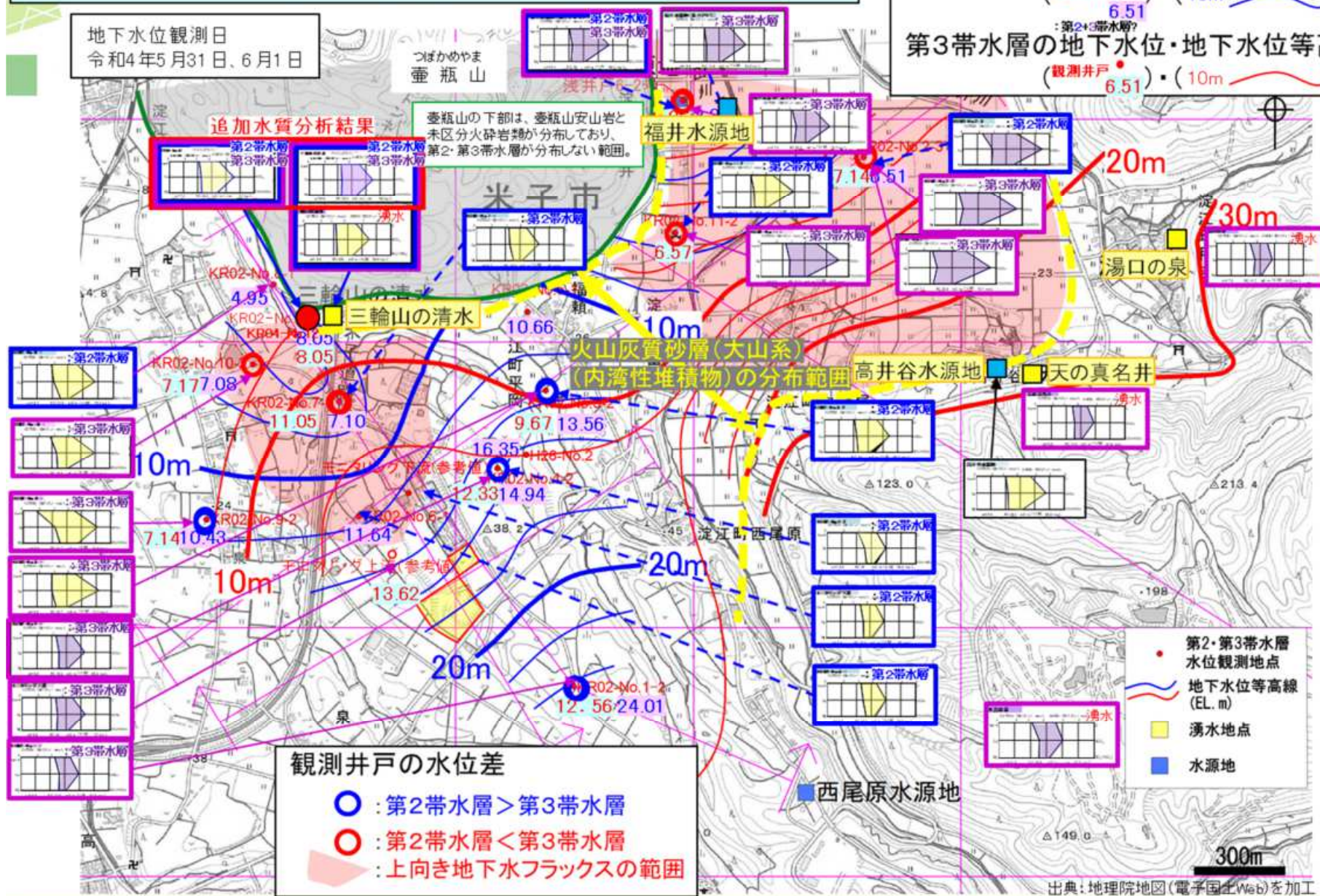
追加水質分析結果

壺瓶山の下部は、壺瓶山安山岩と未区分火砕岩類が分布しており、第2・第3帯水層が分布しない範囲。

福井水源地

第2帯水層の地下水位・地下水位等高線
(観測井戸●)・(10m)

第3帯水層の地下水位・地下水位等高線
(観測井戸●)・(10m)

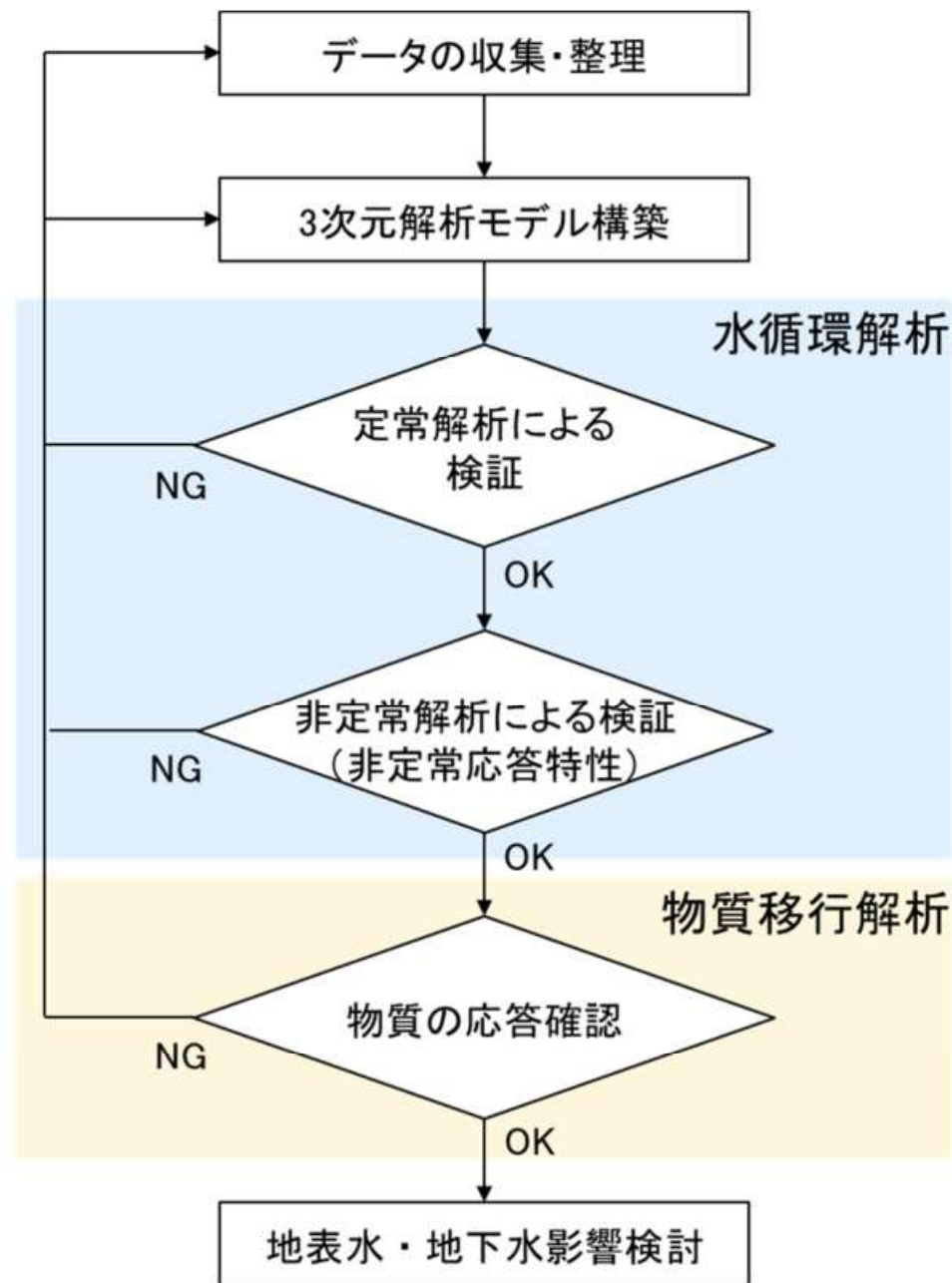


2. 地下水シミュレーション解析のまとめ

検証の流れ

- ▶ シミュレーション結果と観測データの差異は、モデルと実際の異なる点を示唆する貴重な情報
- ▶ 計算の実行・検証を繰り返しながら、必要に応じて地質モデル構築やデータの収集へとフィードバックし、モデルの改善や計画地周辺の地表水・地下水流動状況の理解につなげた
- ▶ 検証を経て最終的に確定したモデルを用いて、地表水・地下水影響検討を実施した

定常・非定常の水循環解析および物質移行解析により、モデルの検証・再現性向上を並行して実施しました。



データの収集・整理

分類	項目	観測期間 / 発行	データ・観測頻度	解像度・縮尺・地点	データ名
気象	降水	1993年～2022年5月	日	気象庁:2地点(米子・大山) 国土交通省:3地点(米子・小林・大内)	AMeDAS(気象庁) 水文水質データベース(国土交通省)
		1981年～2010年	月	1km	メッシュ平年値2010(気象業務支援センター)
	気温	1939年～2022年5月	日	1地点(米子)	AMeDAS(気象庁)
		1981年～2010年	月	1km	メッシュ平年値2010(気象業務支援センター)
	日照時間	1939年～2022年5月	日	1地点(米子)	AMeDAS(気象庁)
	積雪深、風速 など	1940年～2022年5月	日	1地点(米子) 積雪のみ2地点(米子・大山)	AMeDAS(気象庁)
潮位	1993年～2022年5月	日	1地点(境)	AMeDAS(気象庁)	
地形	陸域	5m(2015/11/25) 10m(2014/01/28)	-	5m 10m	基盤地図情報数値標高モデル(国土地理院)
		2013年	-	-	都市計画図データ(県より貸与)
	海域	-	-	500m	500mメッシュ水深データ(J-EGG500)(日本海洋データセンター)
土地利用・ 土地被覆	土地利用・ 土地被覆	1997年,2006年,2009年, 2014年,2016年 Ver.21.03、リリース:2021(R3)	-	100m 10m	国土数値情報土地利用細分メッシュ(国土交通省) 高解像度土地利用土地被覆図(JAXA)
		地下水揚水	2018年4月～2022年5月	-	5地点
水利用	河川取水 (農地かんがい)	2021年3月時点	-	-	水利権(鳥取県受領データ)
	下蚊屋ダムから の導水	2012年7月時点	-	-	大山山麓総合農地開発事業(鳥取県受領データ)
	モニタリング (検証データ)	河川流量	2020.11～2021.12		3地点
2020.10				26地点	
河川水位		1993～2021年		4地点	
地下水位		2020.11～2022.5		18地点	
水質・水温		2020.11、2021.2	一斉観測	河川水、地下水、湧水:64地点	

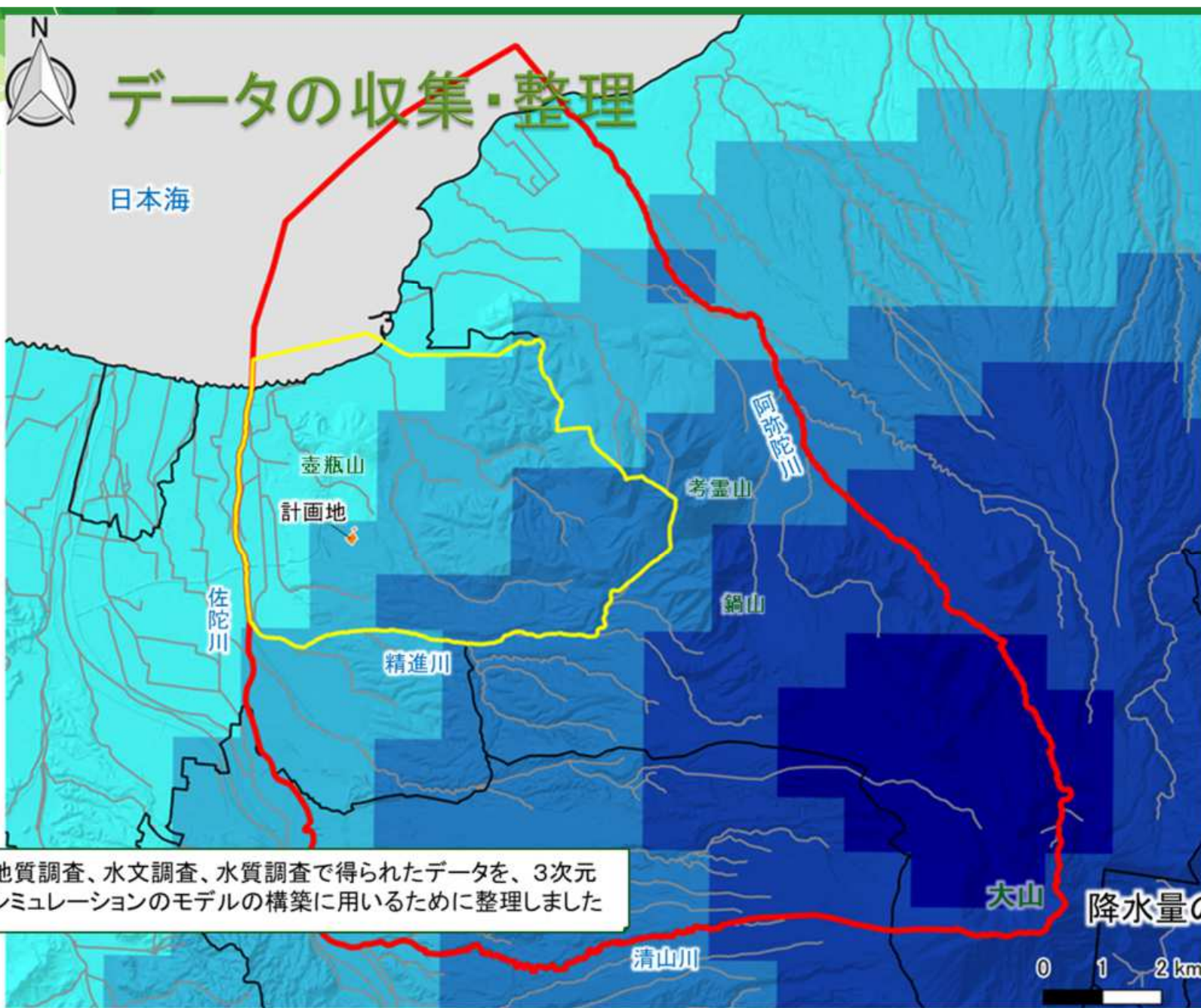
地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを、
3次元シミュレーションのモデルの構築に用いるために整理しました



データの収集・整理

日本海

- 広域解析範囲
- 詳細解析範囲
- 市町村境界
- 計画地
- 水域
- 年降水量(mm/年)
- < 2000
- 2000 - 2200
- 2200 - 2400
- 2400 - 2600
- 2600 <



地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを、3次元シミュレーションのモデルの構築に用いるために整理しました

降水量の空間分布

0 1 2 km

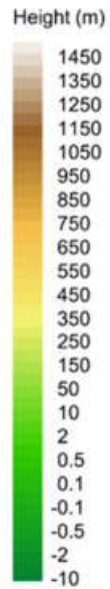
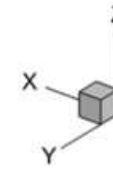


3次元解析モデルの構築

地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを整理し、3次元シミュレーションモデルの構築を行いました。

項目		モデル化方法	
		定常解析	非定常解析
気象	降水量	メッシュ平年値(1981~2010年の1kmメッシュ推定の平年値)における降水量を与える	収集した気象庁・鳥取県の降雨地点の降水量を日変動データとして、ティーセン分割により空間分布として与える
	蒸発散量	単層熱収支式により考慮	単層熱収支式により考慮
	積雪・融雪	考慮しない	単層熱収支式により考慮
	気圧	標準大気圧	
土地利用 土地被覆	等価粗度	高解像度土地利用土地被覆図(JAXA)を使用、土地利用区分毎に等価粗度係数を設定	
地形	陸域	国土地理院数値地図 5・10m(標高)、都市計画図を合成し、水域について修正	
	海域	日本海洋データセンター500mメッシュ水深データ	
地下地質	水理物性	透水係数、有効間隙率を地質区分ごとに一律で設定	
	2相流物性	相対浸透率と毛細管圧力を設定	
水利用		地下水揚水、河川取水、農地かんがいを考慮	
境界条件		上面:大気圧固定境界 外周及び底面:閉境界 海域:水位固定境界(平均海水位:T.P.0.22m)	

3次元格子モデル



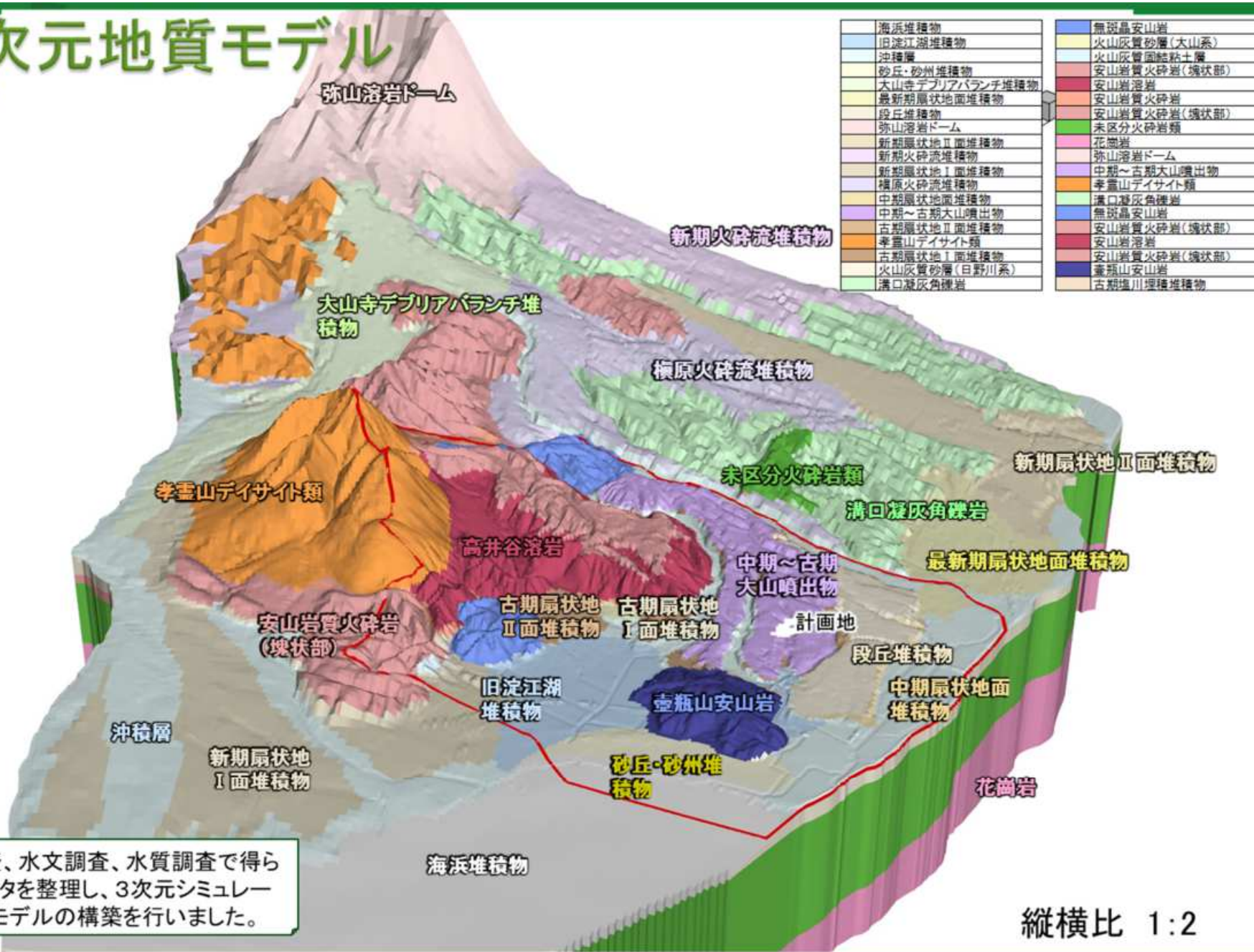
- ▶ 平面格子を鉛直方向に押し出して3次元格子を作成
- ▶ 水平解像度 約30m～約150m
- ▶ 総格子数 4,057,200
- ▶ 深度方向を62層、大気層を除く
- ▶ モデル底面は流動場にほぼ関与しない花崗岩までを十分に含んだ標高マイナス1000mまでと設定



地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを整理し、3次元シミュレーションのモデルの構築を行いました。

縦横比 1:2

3次元地質モデル



地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを整理し、3次元シミュレーションのモデルの構築を行いました。

縦横比 1:2

水理物性

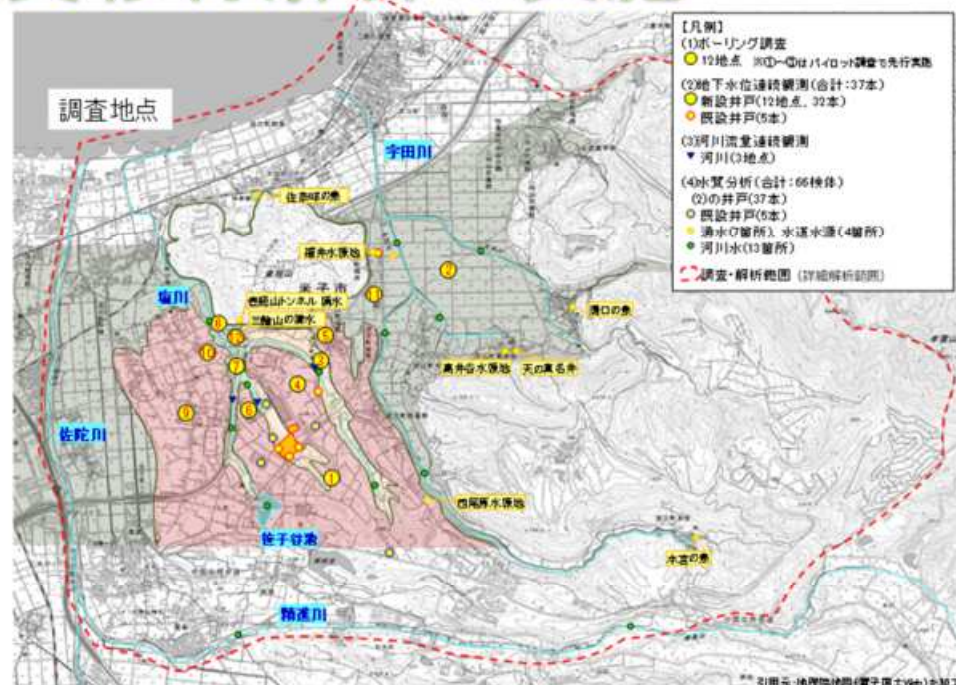
1. シミュレーション解析において、地質特性や実現象を踏まえ、水理地質総合解析で設定した透水係数の初期値を更新し、観測結果と計算結果のマッチング（現況再現）を行いました
2. 貯留性に関わるパラメータについても、非定常の水循環解析における再現性を確認しながら設定値を更新しました

地層名		透水係数(m/s)	間隙率(-)	比貯留係数(1/m)	二相流物性
表土層(～深度1m)	水田	1.00×10^{-7}	0.2	7.00×10^{-4}	砂
	その他	1.00×10^{-9}	0.2	7.00×10^{-4}	砂
海浜堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-4}	砂
沖積層		2.24×10^{-5}	0.1	7.00×10^{-4}	砂
旧淀江湖堆積物		1.00×10^{-6}	0.1	1.84×10^{-3}	粘土
砂丘・砂州堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-4}	砂
最新期扇状地面堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-5}	砂
段丘堆積物		1.00×10^{-5}	0.2	7.00×10^{-5}	礫
大山寺デブリアバラチ堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-5}	礫
弥山溶岩ドーム	上部	1.00×10^{-4}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
新期火砕流堆積物		1.00×10^{-5}	0.1	7.00×10^{-5}	礫
新期扇状地Ⅱ面堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-5}	礫
新期扇状地Ⅰ面堆積物		1.00×10^{-4}	0.2	7.00×10^{-5}	礫
横原火砕流堆積物		1.00×10^{-5}	0.1	7.00×10^{-5}	礫
中期扇状地面堆積物		5.47×10^{-7}	0.1	7.00×10^{-5}	礫
中期～古期大山噴出物	上部	1.45×10^{-7}	0.15	7.00×10^{-5}	砂
	下部	1.45×10^{-9}	0.15	7.00×10^{-5}	砂
古期塩川埋積堆積物		1.00×10^{-9} (水平方向: 7.50×10^{-6})	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
古期扇状地Ⅱ面堆積物		4.25×10^{-6}	0.1	7.00×10^{-5}	礫
孝霊山デイスイト類	上部	1.00×10^{-4}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
古期扇状地Ⅰ面堆積物		3.43×10^{-7}	0.2	7.00×10^{-5}	礫
火山灰質砂礫層(日野川系)	全体	1.00×10^{-5}	0.3	7.00×10^{-5}	礫
	高透水性部	1.00×10^{-4}			
溝口凝灰角礫岩	上部	2.85×10^{-7}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	2.85×10^{-9}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
火山灰質砂層(大山系)	エリア①	7.50×10^{-6}	0.2	1.61×10^{-4}	砂
	エリア②	1.50×10^{-5}			
火山灰質固結粘土層		2.59×10^{-10}	0.1	1.84×10^{-3}	粘土
無斑晶安山岩	上部	1.00×10^{-4}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
高井谷溶岩	上部	1.00×10^{-4}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
安山岩質火砕岩	エリア①	1.00×10^{-5}	0.2	1.51×10^{-5}	礫
	エリア②	2.00×10^{-5}			
	エリア③	5.00×10^{-4}			
	エリア④	5.00×10^{-4} (水平方向: 1.00×10^{-2})			
	エリア⑤	2.00×10^{-3}			
安山岩質火砕岩(塊状部)	上部	1.10×10^{-5}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
壺瓶山安山岩	上部	1.00×10^{-5}	0.1	1.51×10^{-5}	礫
	下部	1.00×10^{-6}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
	崩積土	1.00×10^{-9}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
未区分火砕岩類		1.15×10^{-9}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤
花崗岩		1.00×10^{-10}	0.005	3.30×10^{-6}	岩盤

水循環解析および物質移行解析の実施

水循環解析

- ▶ 河川流量・地下水位等の平均的な状況を再現対象として定常解析(平均的な気象外力や水利用条件を境界条件とした解析)を実施
- ▶ 2020年11月～2022年5月の河川流量・地下水位の連続観測データを再現対象として日変動の気象・水利用条件を与えた非定常解析を実施



物質移行解析

- ▶ 酸素安定同位体比($\delta^{18}O$)、CFCs、水温を対象とした物質移行解析を実施

水循環解析および物質移行解析を並行して実施し、各種観測データの再現性を確認しながら現況再現解析を進めました

評価方法

- ▶ 水循環解析、物質移行解析の再現性からモデルの妥当性を評価

水循環解析および物質移行解析の実施



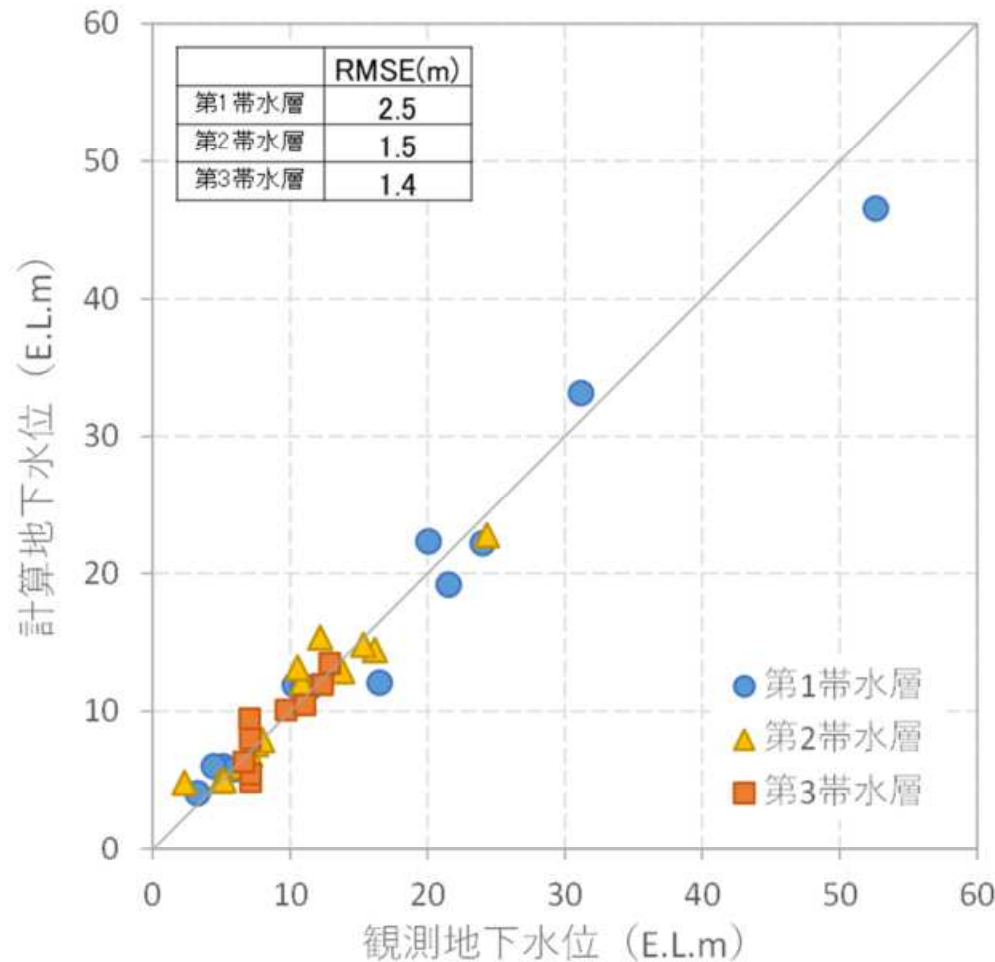
- 【凡例】
- (1)ボーリング調査
 - 12地点 ※①～③はパイロット調査で先行実施
 - (2)地下水位連続観測(合計:37本)
 - 新設井戸(12地点、32本)
 - 既設井戸(5本)
 - (3)河川流量連続観測
 - ▼ 河川(3地点)
 - (4)水質分析(合計:66検体)
 - (2)の井戸(37本)
 - 既設井戸(5本)
 - 湧水(7箇所)、水道水源(4箇所)
 - 河川水(13箇所)
- 📏 調査・解析範囲(詳細解析範囲)

検証対象	検証地点	備考
地下水位	37本 (新設井戸12地点32本、 既設井戸5本)	定常解析では観測平均値、非定常観測では連続観測の時系列変化との比較。
河川流量	1地点 (地点①:塩川上流)	連続観測3地点のうち残りの地点②及び地点③の河川流量は人為的な影響を強く受けているため評価対象外とし、地点①も比較可能な時期を抽出して比較する。 定常解析では観測平均値、非定常観測では連続観測の時系列変化との比較。
湧水量	3地点:本宮の泉、天の 真名井、田井の沼	実測値(R3.11.9)との比較。

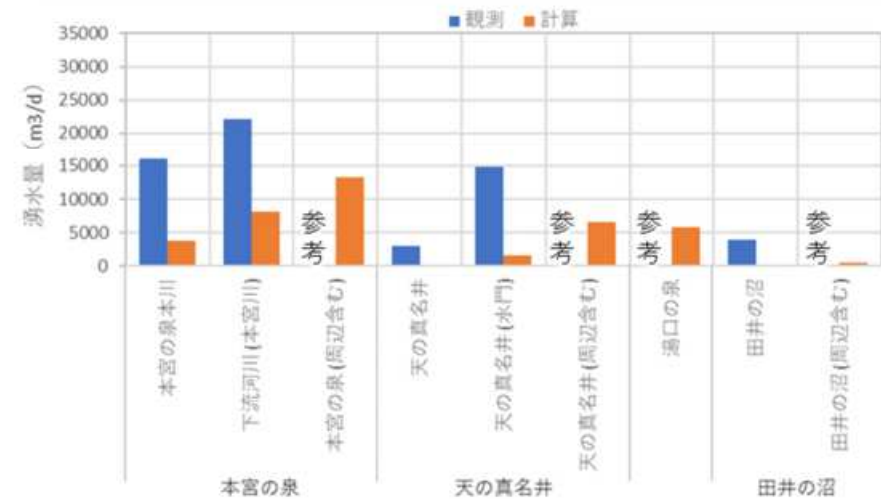
水循環解析および物質移行解析を並行して実施し、各種観測データの再現性を確認しながら現況再現解析を進めました

※必要に応じてその他一斉観測などのデータも参照

地下水位及び湧出量の再現性

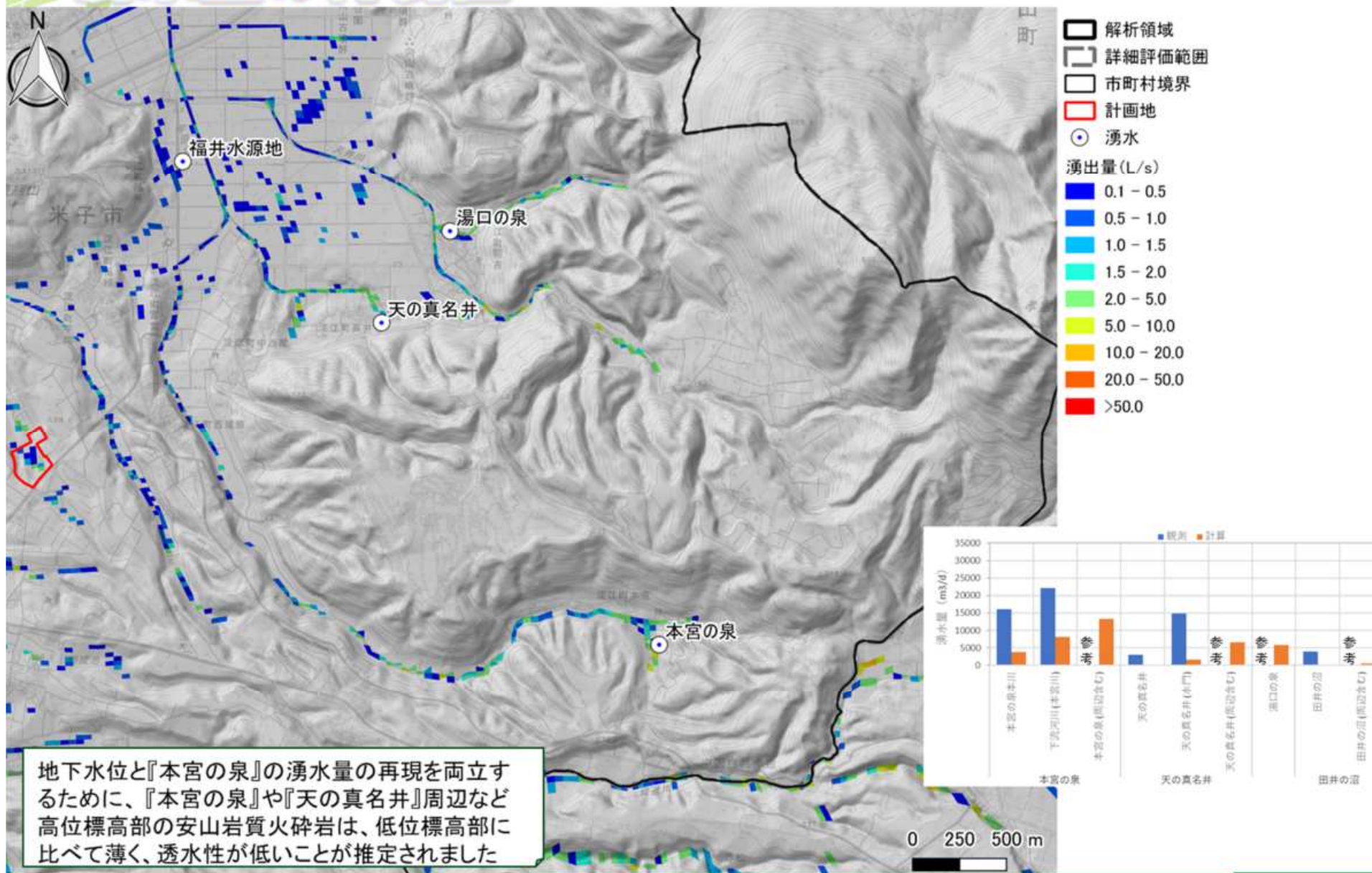


全体的な地下水位および湧水量について、高い再現性を得ることができました



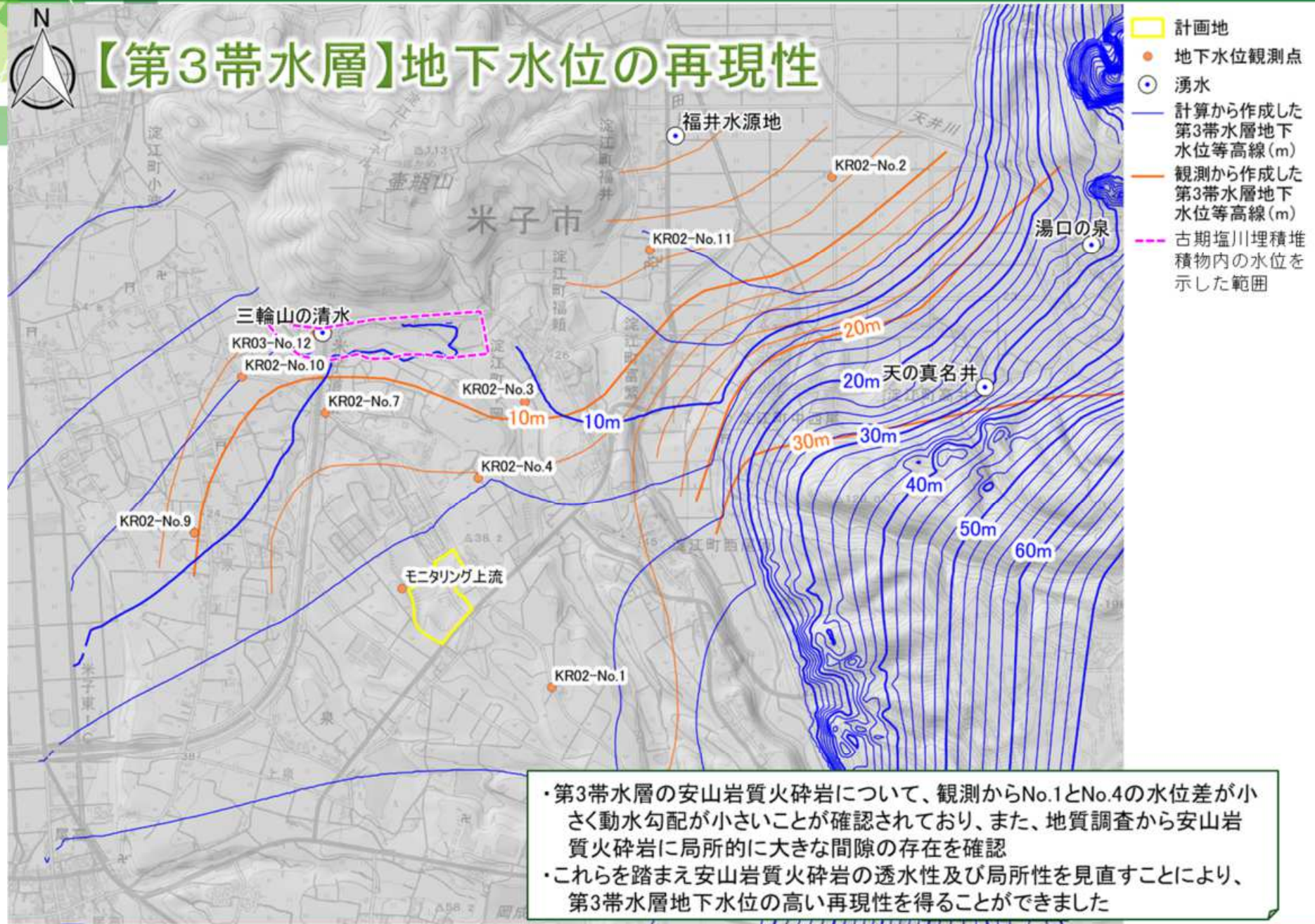
※RMSE: 二乗平均平方根誤差、小さいほど観測と計算の誤差が少ない

湧水量の再現性



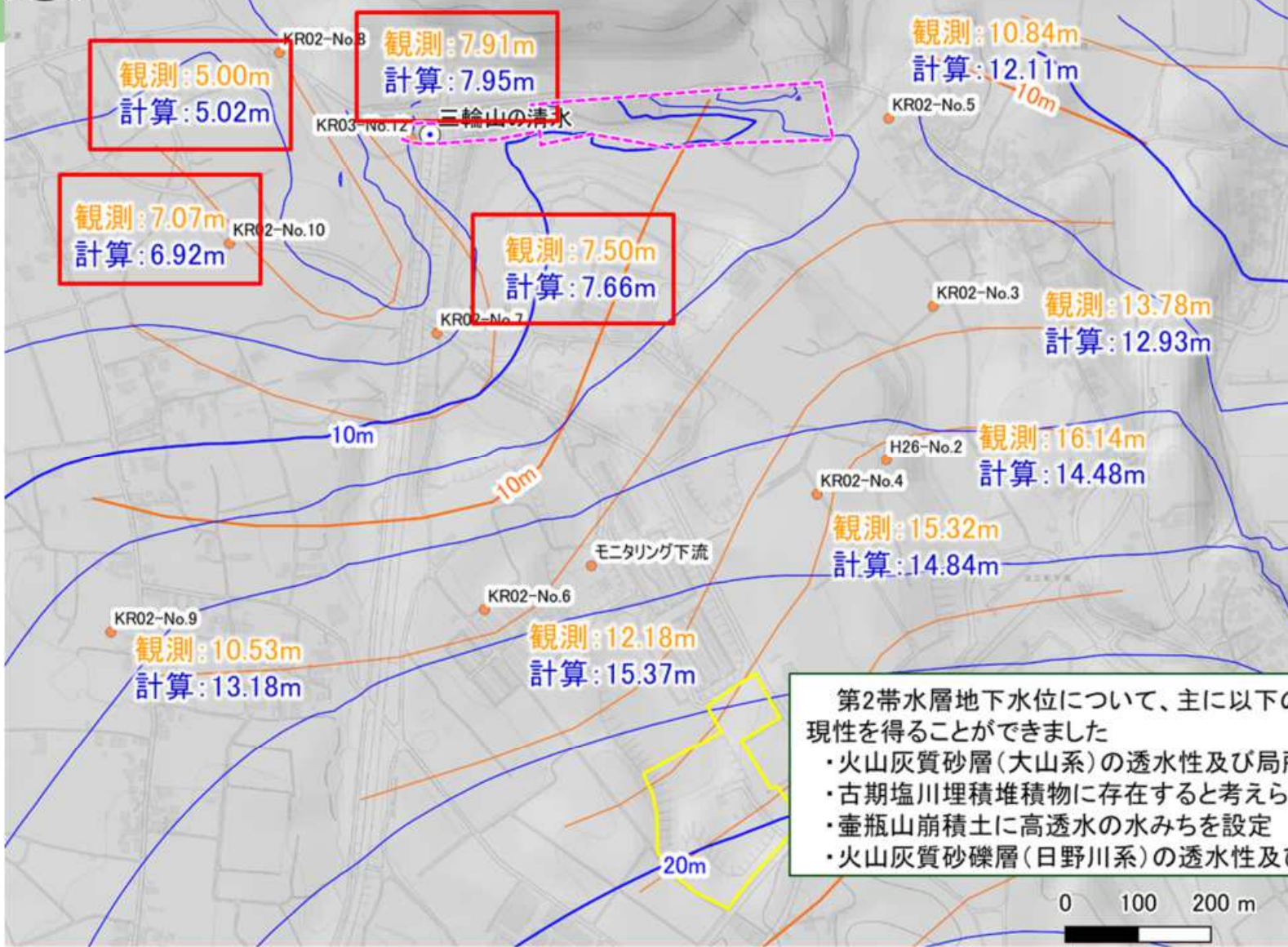


【第3帯水層】地下水位の再現性





【第2帯水層】地下水位の再現性

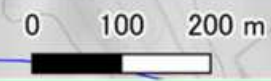


- 計画地
- 地下水位観測点
- 湧水
- 計算から作成した第2帯水層地下水位等高線 (m)
- 観測から作成した第2帯水層地下水位等高線 (m)
- 古期塩川埋積堆積物内の水位を示した範囲

※ 図上の観測値は連続観測の平均値を表す

第2帯水層地下水位について、主に以下の更新により高い再現性を得ることができました

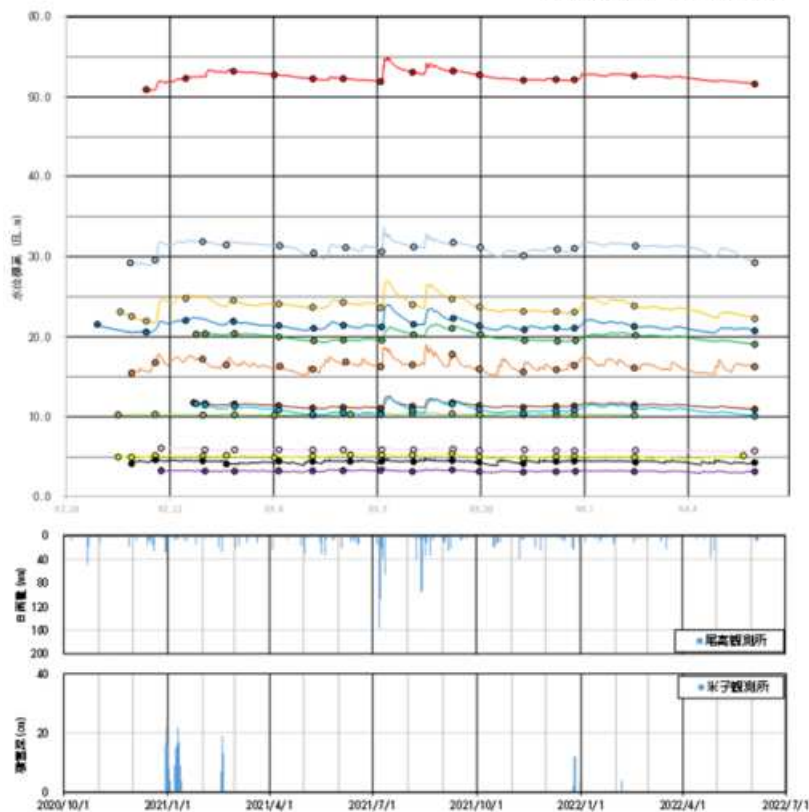
- ・火山灰質砂層(大山系)の透水性及び局所性の更新
- ・古期塩川埋積堆積物に存在すると考えられる高透水部の設定
- ・壺瓶山崩積土に高透水の水みちを設定
- ・火山灰質砂礫層(日野川系)の透水性及び局所性の更新



【第1帯水層】非定常解析による地下水位変動の確認

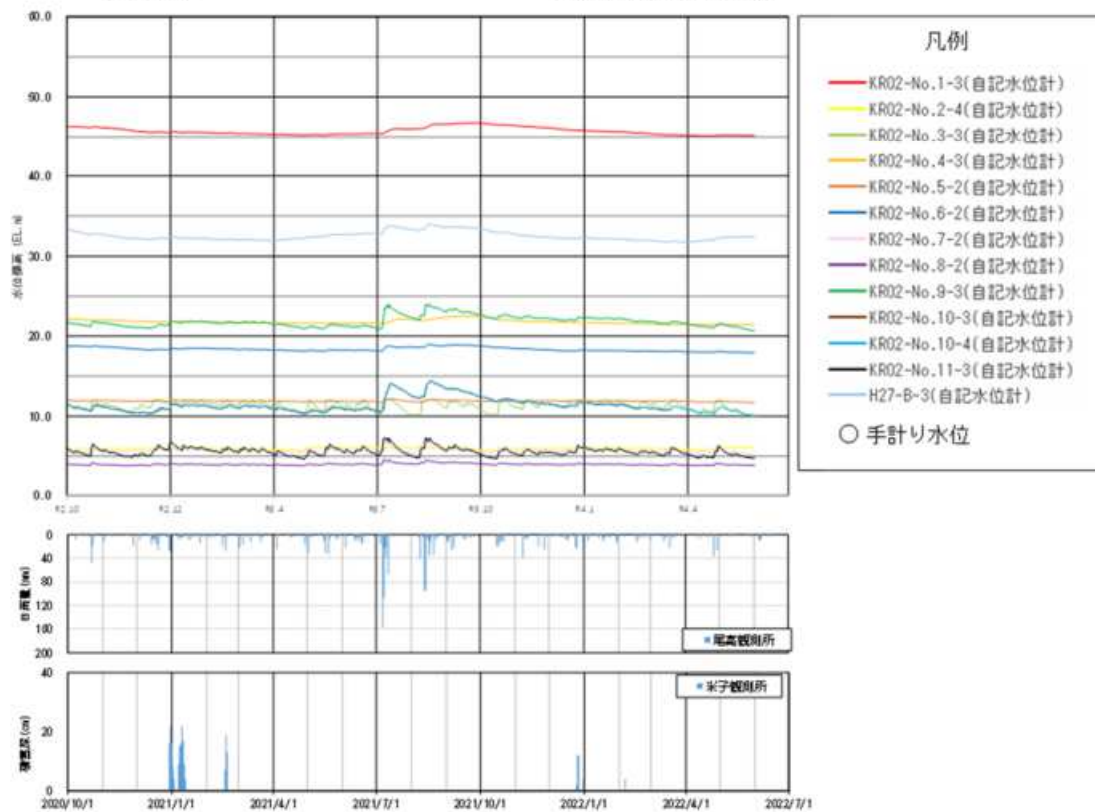
観測

第0帯水層・第1帯水層



計算

第0帯水層・第1帯水層

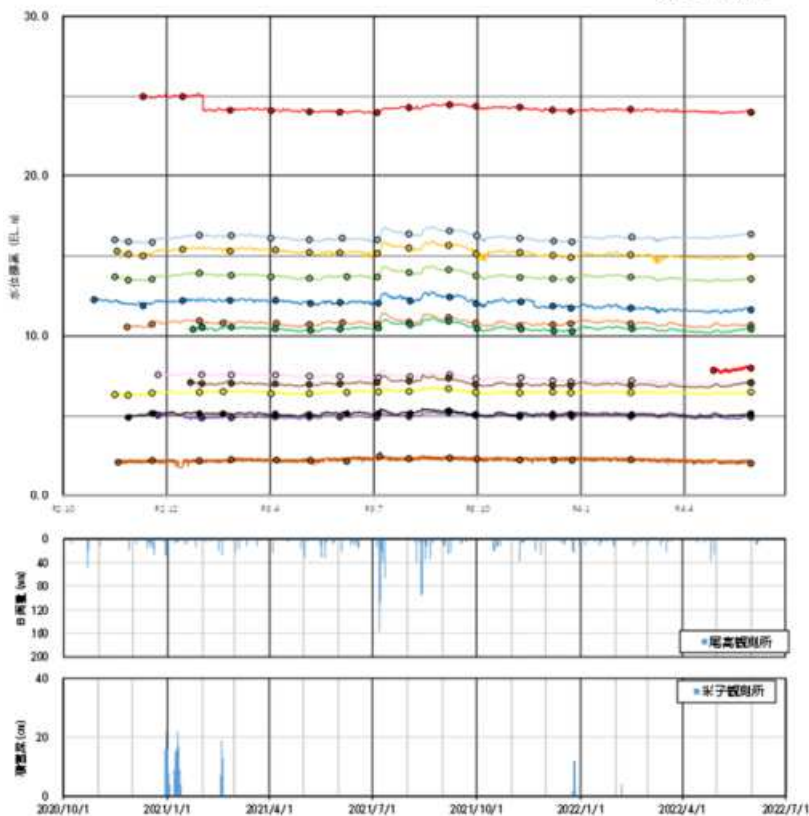


非定常解析における地下水位変動について、全体的に観測と整合する結果を得ることができました

【第2帯水層】非定常解析による地下水位変動の確認

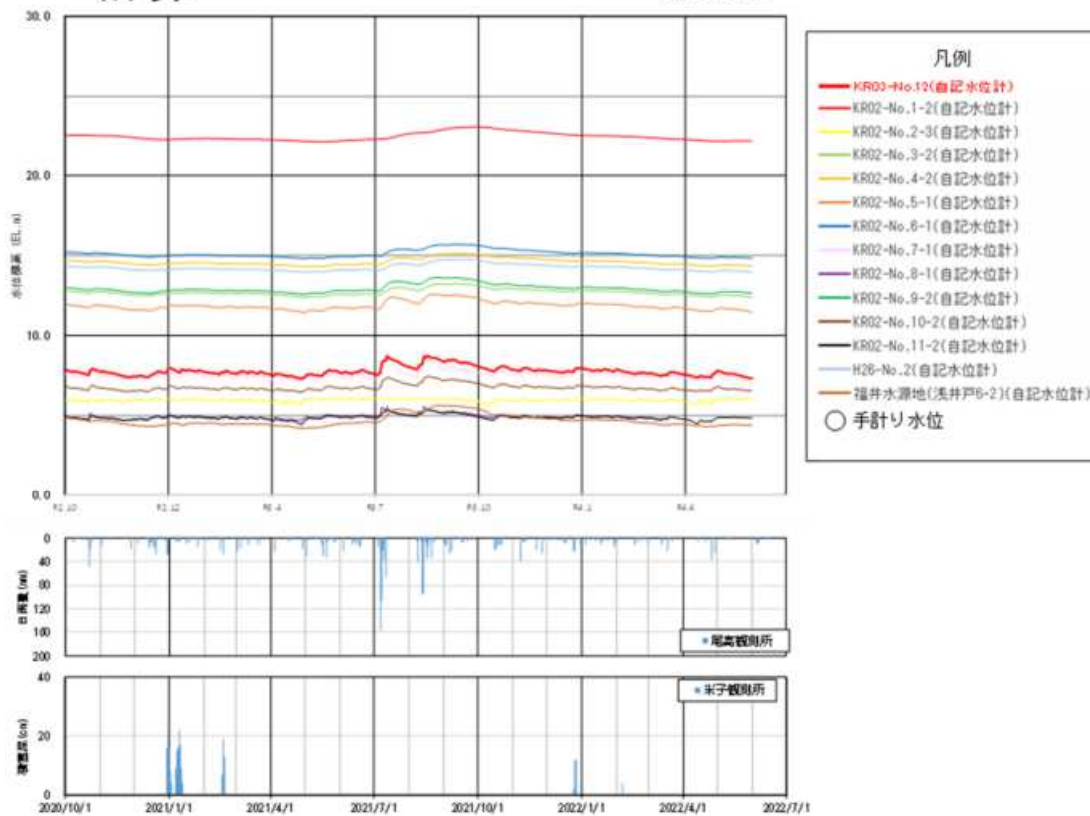
観測

第2帯水層



計算

第2帯水層

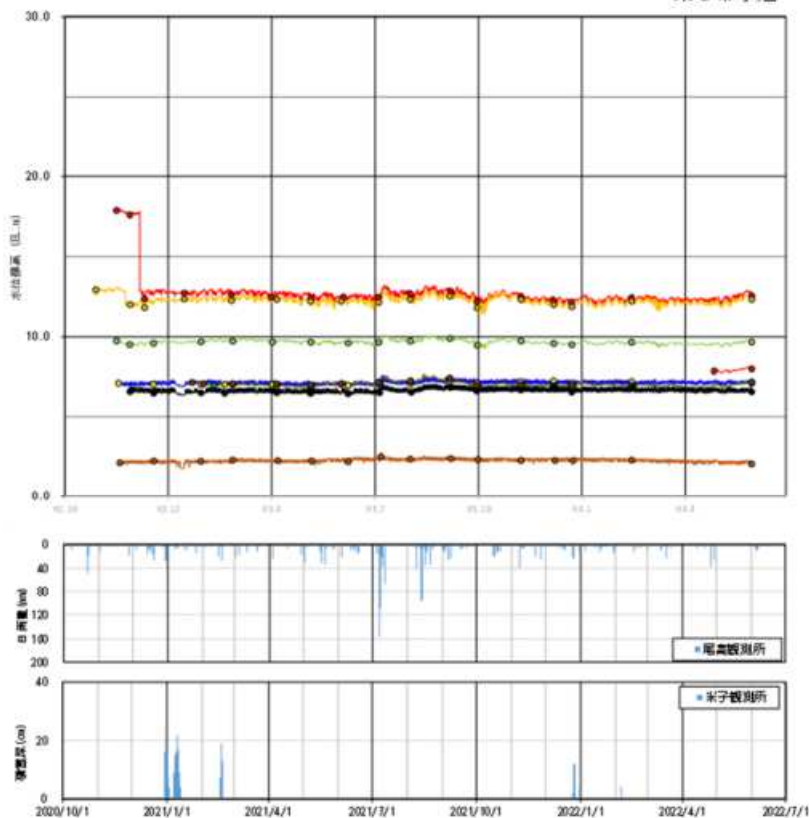


非定常解析における地下水位変動について、全体的に観測と整合する結果を得ることができました

【第3帯水層】非定常解析による地下水位変動の確認

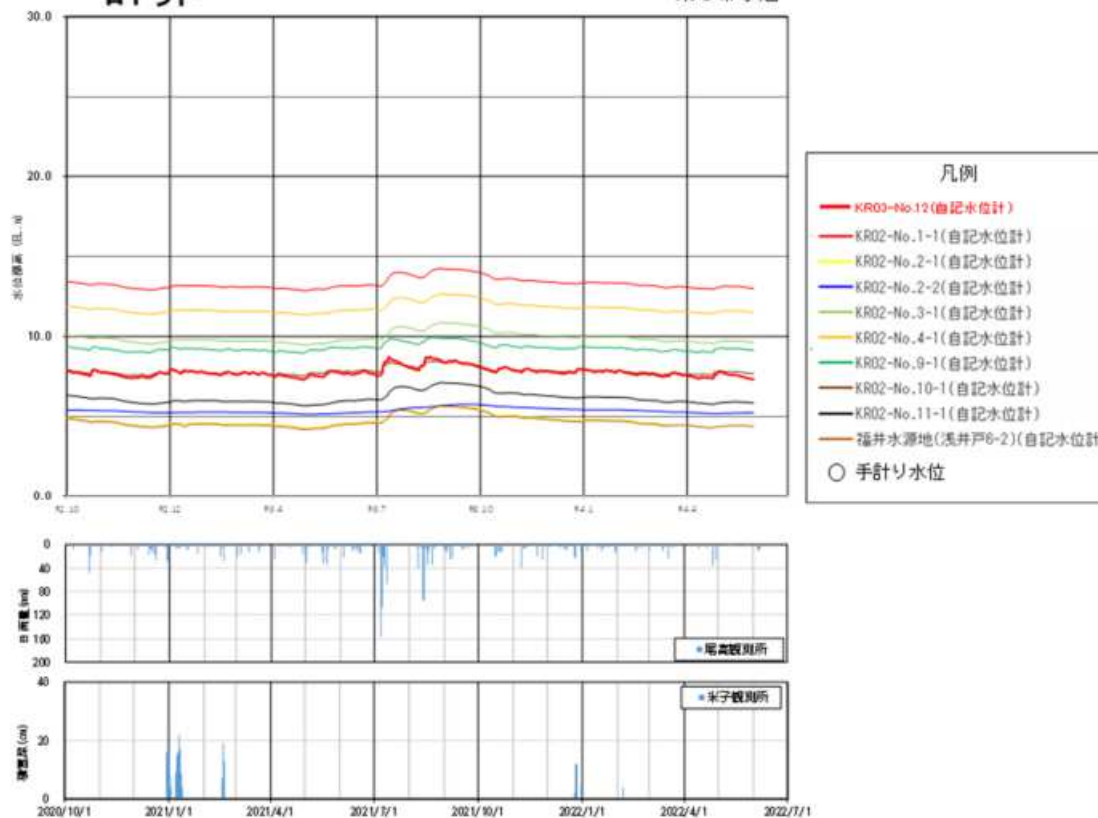
観測

第3帯水層



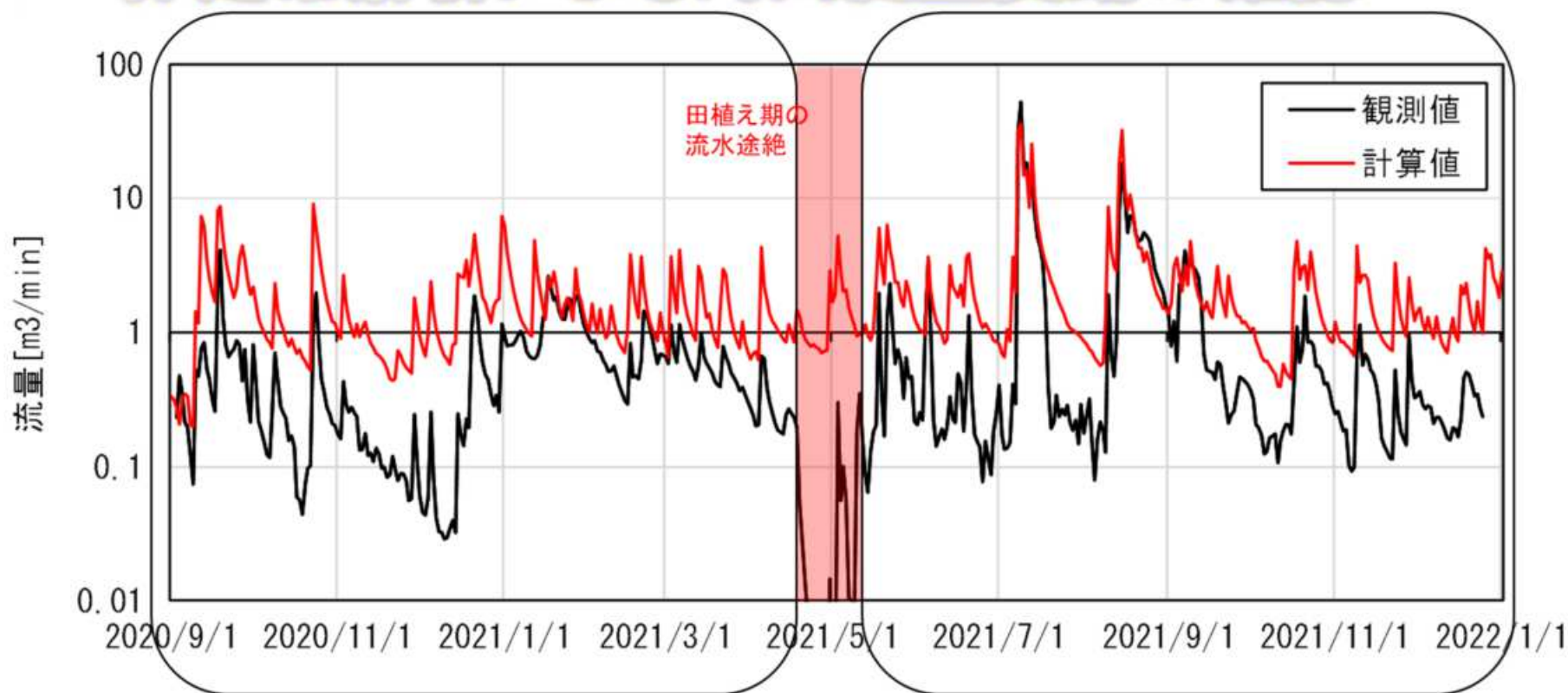
計算

第3帯水層



非定常解析における地下水位変動について、全体的に観測と整合する結果を得ることができました

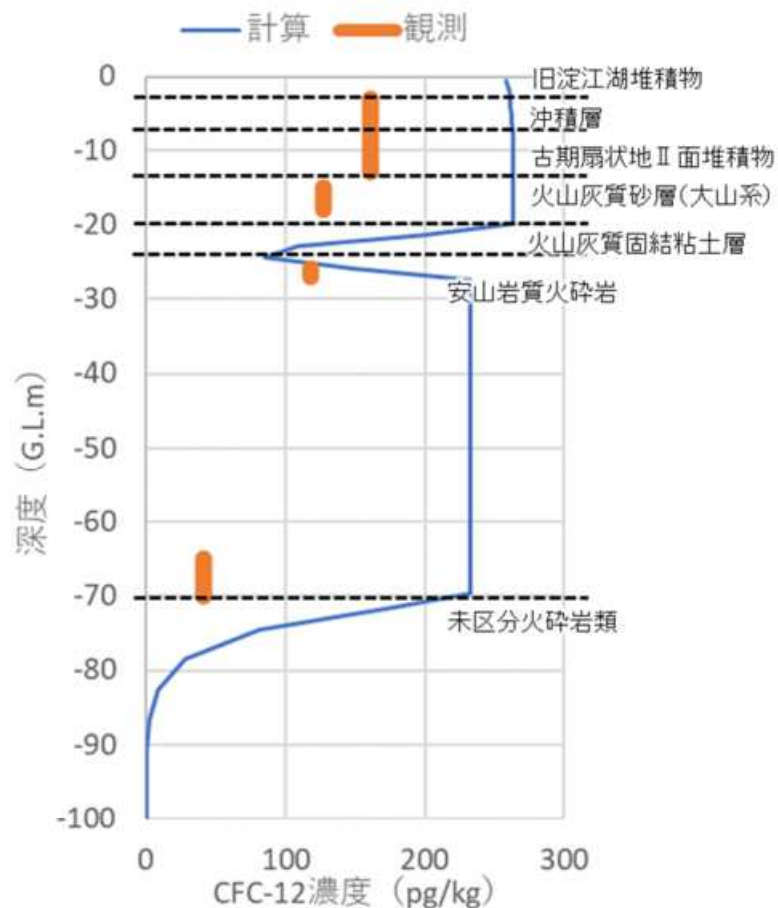
非定常解析による河川流量変動の確認



1. 河川流量の変動(上下動)は全体的に整合し、特に、2021年7月、9月の豪雨によるピークは整合する結果を得ることができました
2. 一部長期の変動や降雨ピーク後の流量の減少などが観測に比べて小さい傾向がみられますが、観測には田植え期の流量途絶や時期による流量変動の違いなど、人為的な影響が存在してことから、全体的な変動の整合や2021年7月-9月の大雨時の応答が観測と整合していることにより再現性が得られたと判断しました

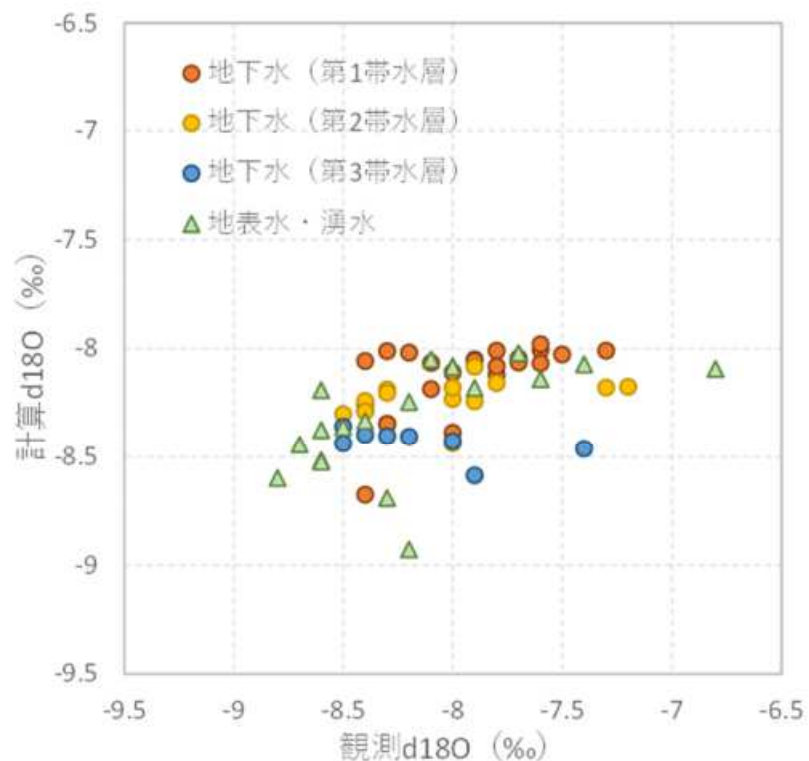
物質移行解析の結果

CFC-12濃度



観測と同様に浅部に比べて深部で濃度が相対的に低い状況を得ました

$\delta^{18}\text{O}$



全体的には観測との大小関係は整合