

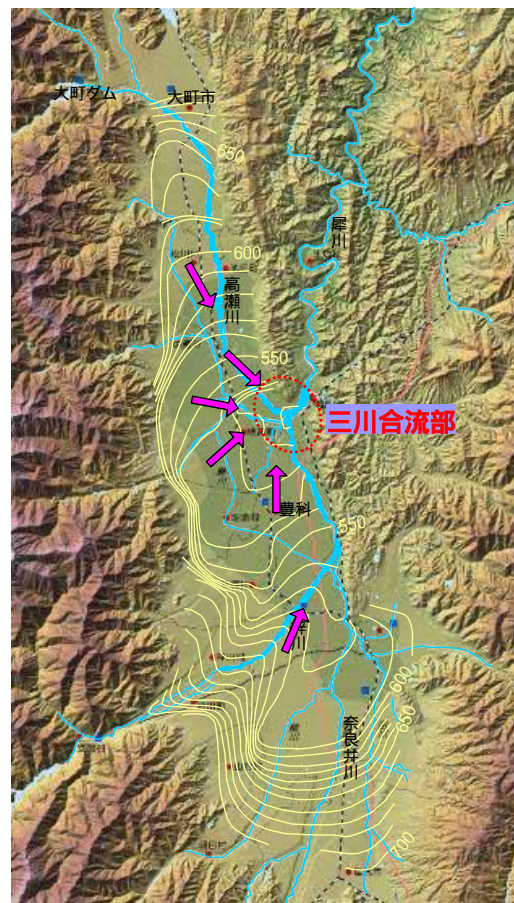
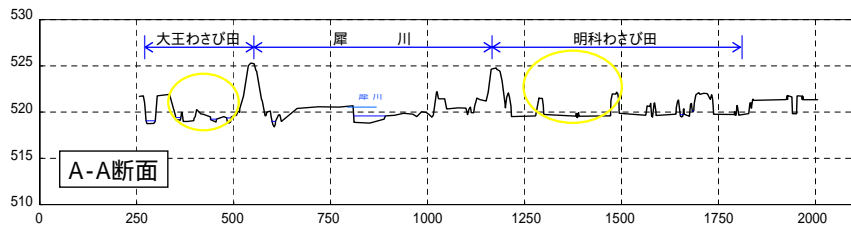
犀川上流域の水環境について



国土交通省 千曲川河川事務所

A-1. 松本盆地及び三川合流部の水環境の現状(1)

- 安曇野市、松本市、大町市、池田町、松川村等を擁する松本盆地は豊富な地下水に恵まれている。
- 地下水位を観測すると、松本盆地の地下水は犀川、高瀬川、穂高川の三川合流地点に向かって流動していることがわかる。
- 三川合流地点では蓼川、万水川等、清冽な湧水河川が安曇野特有の景観を作りだし、湧水を利用したワサビ栽培が全国に名を馳せ、また、希少種も確認されている。
- 信濃川水系における有数の自然環境であり、治水上也重要な地点である。



A-2. 松本盆地及び三川合流部の水環境の現状(2)



3

A-3. 松本盆地及び三川合流部の水環境の現状(3: 地元利用)

- 犀川、高瀬川、穂高川の三川合流地点には、明科水辺の楽校として整備された公園があり、その中にある御宝田池には毎年多くの白鳥が飛来し、白鳥とアルプスを望む景観は観光スポットとなっている。
- 犀川橋上流では毎年春と秋に「お水まつり」が行われ、多くの生命（農水産物等）を生み出す力のある水、安曇野の大地、緑を潤す豊かな水、この安曇野の宝でもある水の恩恵に感謝し、豊作や水難防止、観光振興の発展を願うお祭りとして、三川合流となる地点でお水を汲む行事が行われている。



神事



お水取り

信濃毎日新聞 平成21年10月18日付け 1面

おかえり コハクチョウ 記事

信濃毎日新聞 平成21年10月22日付け
中信版 27面

安曇野の犀川で恒例「お水取り」 記事

信濃毎日新聞 平成21年5月20日付け31面

高原調
「お水迎え」記事

4

A-4. 松本盆地及び三川合流部の水環境の現状(4:近年の変化)

- 「大規模ペットボトル工場の進出」、「わさび田周辺を通る高速道路の建設」など安曇野の湧水環境に関連した懸案事項がしばしば新聞記事に取り上げられている。
- 現状では地下水の取水は許可制であり、取水制限は無い。
- 将来の安曇野の、湧水環境の保全のために対策が必要と考えられる。

信濃毎日新聞 平成21年7月10日付け 2面

松系道路の県内起点 記事

信濃毎日新聞 平成21年5月13日付け中信版

安曇野 12 記事

信濃毎日新聞 平成21年5月12日付け中信版

安曇野 11 記事

B-1. 調査の基本方針(平成19年～平成22年の4年間をかけて実施)

～地下水の流動機構を明らかにし、保全のために必要な対策を考える～

基礎条件整理

- 地質構造**
(松本盆地のボーリングデータの収集・整理)
- 土地利用変化**
(過去と現在の比較)
- 水文条件**
(降雨・降雪の経年変化)
- 流域水利用**
(上・農・工・発電用水と地下水利用)

新たなモニタリング井戸設置

- 層別観測井戸
50mと10mをペアで設置
- 左岸4ヶ所、右岸3ヶ所

松本盆地の地下水実態検討

- 地下水一斉観測による地下水位の経年変化の把握
地下水位が最も低下する2月に松本盆地124ヶ所で一斉地下水位観測を実施(平成19年、平成21年、平成22年)
- 地下水位の経年変動傾向の把握
- 地下水位と降水量の関係の把握

三川合流部の地下水流動メカニズム検討

- * 犀川左岸9ヶ所、犀川右岸の15ヶ所の観測井戸対象
- 地下水位の時間変化観測(T=1時間)
- 安定同位体及びヘキサダイヤグラムの平面分布把握
- 水温時間変化(一定深度)観測(T=1時間)
- 水温水深分布の月変化観測(毎月1日)
- 犀川同時流量流観(伏流量の把握)
- 深層地下水(50m)、浅層地下水(10m)の比較
- ボーリングコアによる地質の詳細把握

- 松本盆地、三川合流部地下水流動の把握
- 再現シュミレーションモデル構築と将来予測

- 松本盆地及び三川合流部の地下水及び湧水環境の保全のための実行プラン

地下水の長期モニタリング

B-2. 現地調査概要

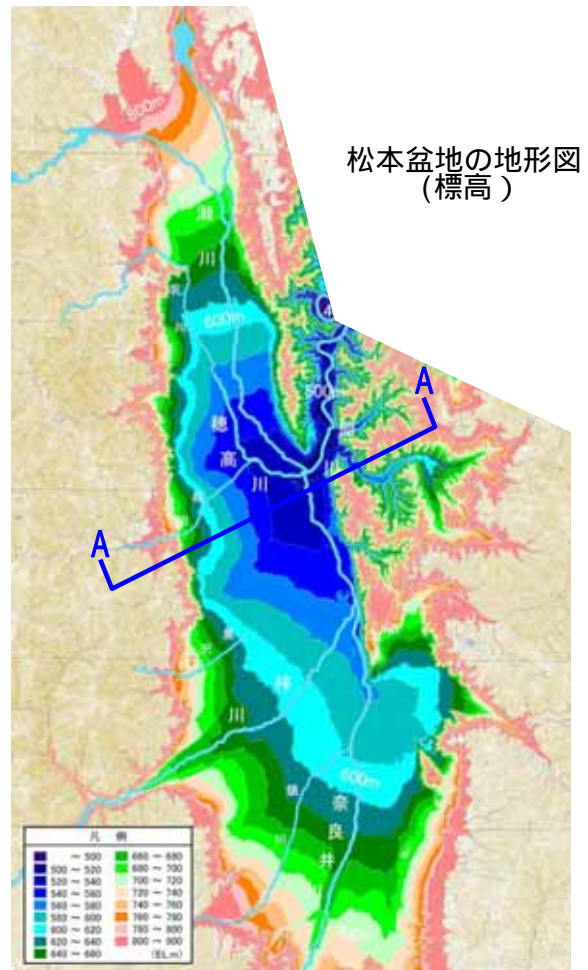
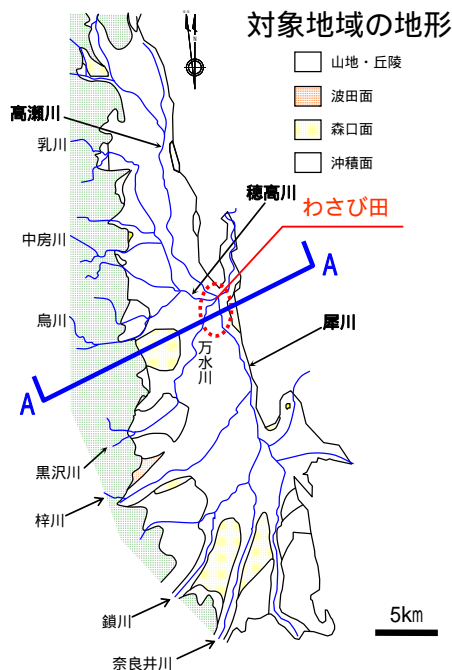
延べ4年に渡る調査内容

地区	調査項目	調査地点数	調査回数	摘要	
松本盆地	A. 地下水水位一斉観測	124地点	4回 (H19.2 ~ H22.3まで)	平成19年2月、平成19年8月、平成21年2月、平成22年2月盆地全域で124箇所(右記深度別観測井戸数)の井戸を対象に一斉観測を行い地下水コンターを作成。原則として標高の高い場所ほど深い井戸となるが、浅井戸と深井戸が混在している場所もある。	0~20m 31 20~50m 17 50~100m 35 100m以上 25 不明 16
	B. 地下水連続観測	35地点	日1回、月1回など	松本盆地で長期の観測を行っている井戸35ヶ所を対象に長期間の地下水水位変動傾向を分析。長期観測井戸は近年観測をとりやめる方向にある。	
	C. 地下水質調査	26地点	1回	平成21年2月に松本盆地26箇所の井戸を対象に、酸素・水素の安定同位体及びヘキサダイアグラムを調査。	
三川合流部	層別井戸観測	7箇所×2地点	水位、水温を1時間で記録	深さ50m及び深さ10mの井戸を併設し、井戸の深さと水頭の間隔を観測。三川合流部は深い地下水の水頭が大きい。	左岸 4×2 右岸 3×2
	地下水位・水温自記観測	10地点	水位は1時間 水温は10分	とは別の単独浅井戸(10m)10箇所地下水、水温を記録。	左岸 1 右岸 9
	水温分布調査	22地点	月1回	のうち22箇所の井戸で毎月1回、水深方向1mピッチで水温分布を観測	左岸 9 右岸 13
	地下水質調査	10~30地点	3回	の井戸や河川水、湧水を対象に平成21年2月(30箇所)、平成22年9月(10箇所)平成22年2月(27箇所)に酸素・水素の安定同位体及びヘキサダイアグラムを調査	
	犀川同時流観	本川5断面	2回	犀川の光橋~三川合流部の間で同時流観を実施し、光橋付近で犀川から1.5~3.5m³/sの伏没を確認。一方三川合流部付近で5m³/s程度の湧出を確認	
	ボーリング調査	7地点	-	三川合流部の左岸4地点、右岸3地点の50m井戸でボーリングコアを採取し、地質を確認	
	透水試験	9地点		左岸5箇所、右岸4箇所の井戸で透水実験を実施	

7

C-1. 地形・地質の特徴(1)

- 松本盆地は日本の内陸盆地の中でも最大級の規模を有する。
- 塩尻市から大町市まで南北50km、西北約10km、面積480km²。
- 盆地の河川沿いには沖積低地が広がり、標高は500~700m程度。
- 三川合流部は松本盆地で最も標高の低い地点にあたり、盆地の地下水が収れん的に集まり、大規模な湧水地帯を形成している。



8

C-4. 土地利用の変化

地下水涵養源としての水田面積は減少傾向

国土数値情報によれば、
S51とH18では
水田は-19km²、8.5%減少
畑・果樹園は-16km²、14.3%減少
宅地は+27km²、31.4%増加 (km²)

	S51	H18	増 減	
水 田	224	205	-8.5%	-19km ²
畑・果樹園	112	96	-14.3%	-16km ²
宅 地	86	113	+31.4%	+27km ²
森林等	1884	1860	-1.3%	-24km ²
その他	60	90	+50%	+30km ²
合 計	2366	2364	-	-

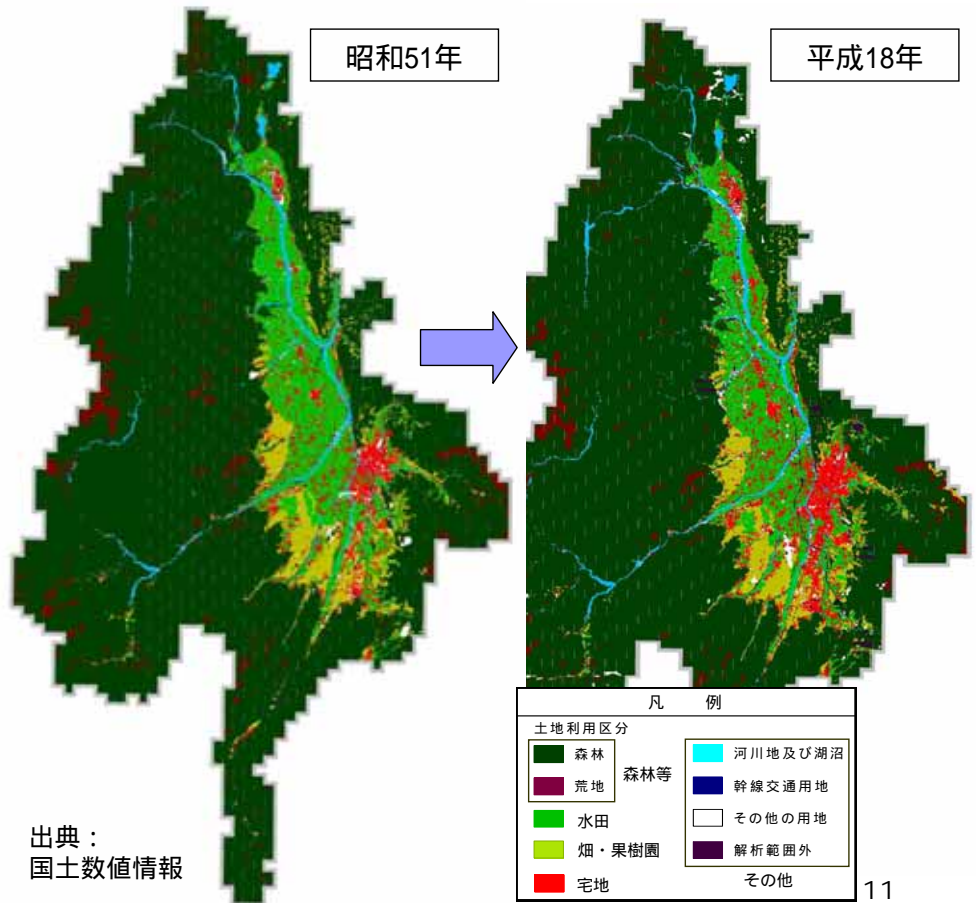
農林業センサスによれば、
S50とH17の水田面積の変化は、

大町市は40%減少
安曇野市は49%減少
松川村34%減少

減反等の実情を
反映していると
考えられる

	S50	H17	増 減	
大町市	21	13	-40%	-8km ²
安曇野市	53	27	-49%	26km ²
松川村	10	7	-34%	-4km ²

S50は水稻の収穫面積、H17は稲作付面積。(km²)



出典：
国土数値情報

C-5. 現在の松本盆地の地下水利用量の推定

松本盆地の地下水利用 実態調査

「信濃川水系長野県地域主要水系
利水現況図」
(松本市、塩尻市、大町市、明科
町、波田町、豊科町、穂高町、池
田町、山形村、梓川村、三郷村、
松川村、堀金村、朝日村)
国土庁土地局、S61.3

➡ 1.64億m³/年

昭和60年、松本盆地全体

「長野県南安曇地区地下水利用適正
化調査報告書」
豊科町、穂高町、三郷村、堀金村、
明科町
通商産業省、S60.3

➡ 0.65億m³/年

昭和58年、南安曇地区

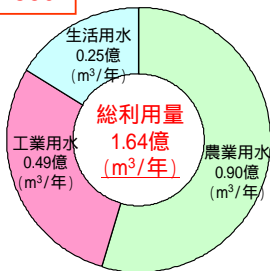
「平成18年度地下水実態調査報告
書」
安曇野市(旧豊科町、旧穂高町、
旧三郷村、旧堀金村、旧明科町)
安曇野市水資源対策協議会、
H19.5

➡ 0.55億m³/年

平成18年、安曇野市

松本盆地全体

S60

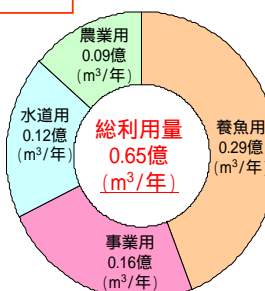


昭和60年：1.64億m³/s

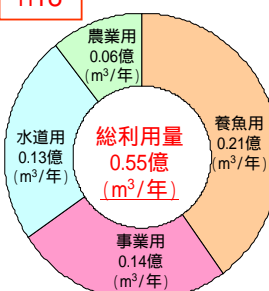
S60の統計以降、
新規の地下水利用
もあり、現在、松
本盆地全体では年
間2億m³程度の地
下水が取水されて
いると推定される。

安曇野市

S58



H18



昭和58年：0.65億m³/s、平成18年：0.55億m³/s



近年、新規の
地下水利用が
進出

上水及び主な新規地下水利用位置図

C-6. (参考) 水田涵養の減少が盆地の地下水に及ぼす影響

松本盆地の地下水賦存量は年間3億m³程度変化するが、過去25年間にそれに匹敵する水田涵養量が失われた可能性がある。これが地下水位低下傾向と関係している可能性がある(D-5など参照)

昭和51年の水田涵養量

水田面積224km² × 減水深46mm
× 灌漑日数141日
= 14.5億 m³/年

* 減水深の値：松本盆地各地域の水利使用における減水深の現地調査結果より

(参考)

- ・ 松本盆地降水量(1185mm/年)は5.7億m³/年
- ・ 松本盆地地下水利用量は2億m³/年
- ・ 松本盆地地下水賦存量の年変化量は3億m³/年～数億m³/年

平成18年の水田涵養量

水田面積224km² × 残存率60%
× 減水深46mm × 灌漑日数141日
= 8.7億 m³/年

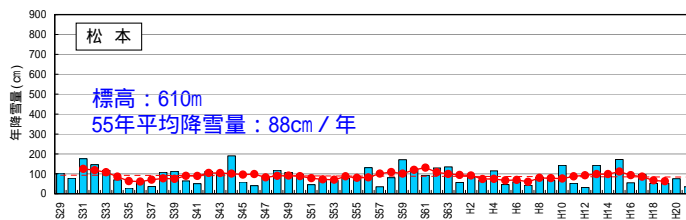
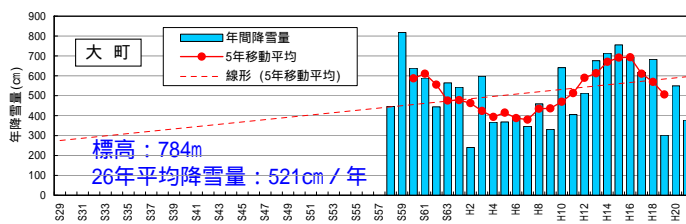
* 残存率60%とは、S50年からH17年までに水田面積が40%減少したこと(農業センサスによる)

**水田の涵養量の減少
5.8億 m³/年**

13

C-7. 降雨・降雪(1)

- ・ 松本盆地の流域には気象庁8、国交省7、東京電力5の気象観測所があり、標高540m～2700mの範囲に分布している。
- ・ 平均標高は国土数値情報(50mメッシュ)で算出すると1,360m。
- ・ 長期間観測している気象庁の年降水量観測結果を次頁に示す。松本は1000～1100mm/年程度と少ない。標高が高いと降水量は増える。経年的なトレンドは概ね安定しているが、松本、奈川は若干減少となっている。
- ・ 降雪は大町と松本で観測されており、周期変動がある。



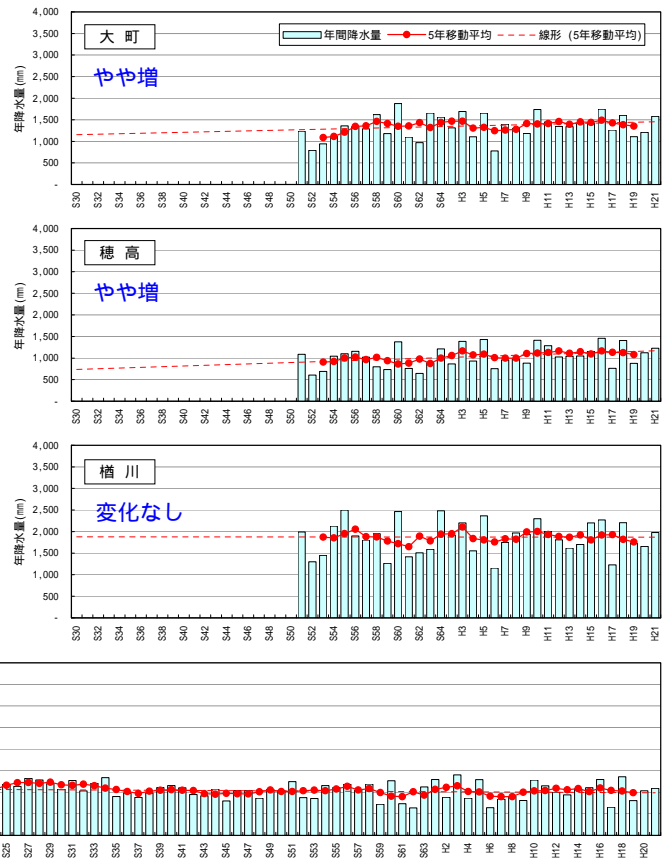
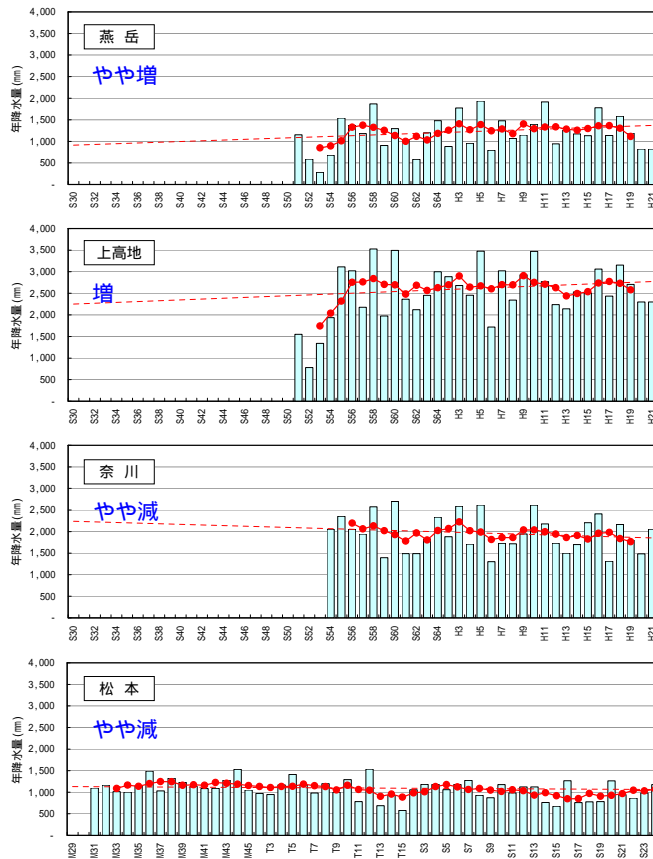
年降雪量の経年変化



14

C-8. 降雨・降雪(2)

年降水量の経年変化



D-1. 松本盆地の地下水変動の比較

地下水一斉観測による地下水位等高線図

- 1) 大町地区
平成19年2月及び平成22年2月の地下水位は概ね近いが、平成21年2月は地下水位が低い。
- 2) 安曇野地区
三川合流部西方のコンターが平坦な部分で、年による変動が大きく地下水位が不安定である。
- 3) 松本盆地市街地区
標高の高い部分は毎回大差はないが、松本市付近のコンターが平坦な部分は年による変動が大きく、地下水は不安定である。

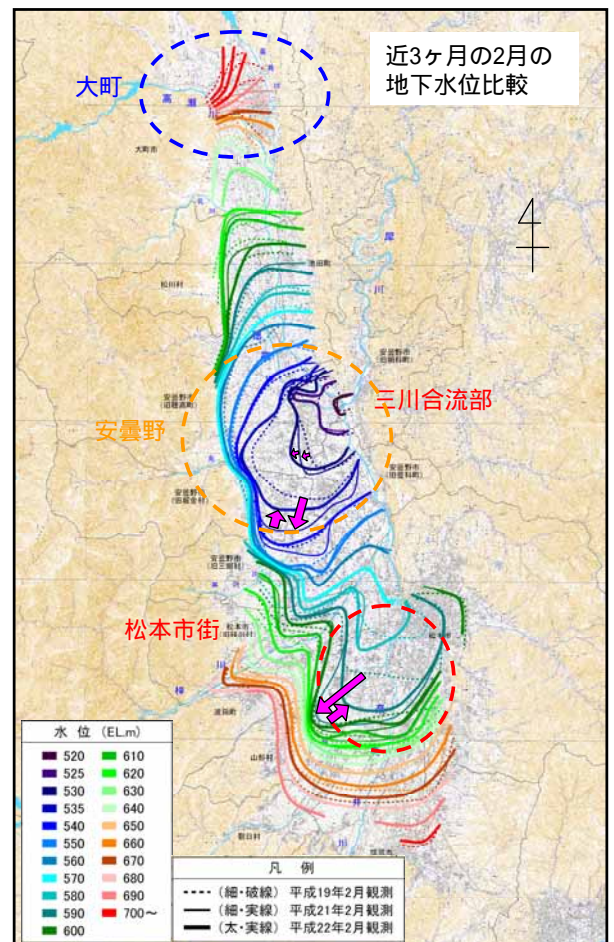
降水・降雪量と地下水位の関係(D-7も参照)

平成22年2月の地下水位は、平成21年2月と比較して高い。平成22年は当該期間(11月~2月)の降水・降雪量が多かったことが要因と考えられる。

平成19年2月は、当該期間の降水・降雪量が少ないにもかかわらず、地下水位が高い。平成18年は降水量が非常に多い年で、より長期の降水量等が地下水位に影響している可能性がある。

降水量 (mm)	地点	H18.11~H19.2	H20.11~H21.2	H21.11~H22.2
	大町	291.0	365.0	482.0
松本	195.0	181.5	257.5	

降雪量 (cm)	地点	H18.11~H19.2	H20.11~H21.2	H21.11~H22.2
	大町	281.0	332.0	443.0
松本	53.0	26.0	9.0	



D-2. (参考) 一斉調査対象井戸

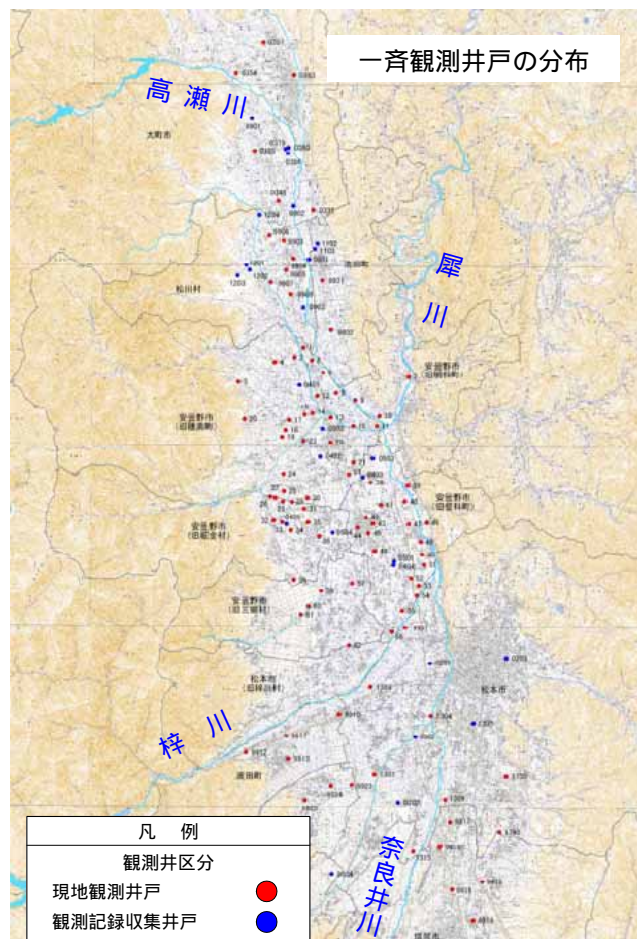
- 一斉調査で対象とした井戸は124箇所。個人井戸、企業井戸、官庁井戸、農業井戸、水道井戸、観測井戸等。
- 市町村別には次の通り。
- 安曇野市は対象井戸数が多い(71)が、大町は37、松本は26に井戸数が限られている。

市町村	対象井戸数	市町村	対象井戸数
大町市	10	波田町	4
松川村	11	山形村	3
池田町	6	朝日村	1
安曇野市	71	塩尻市	5
松本市	13	合計	124

- 井戸の深さ別には次の通り。

深さ	個数
0m ~ 20m	31
20m ~ 50m	17
50m ~ 100m	35
100m以上	25
不明	16
合計	124

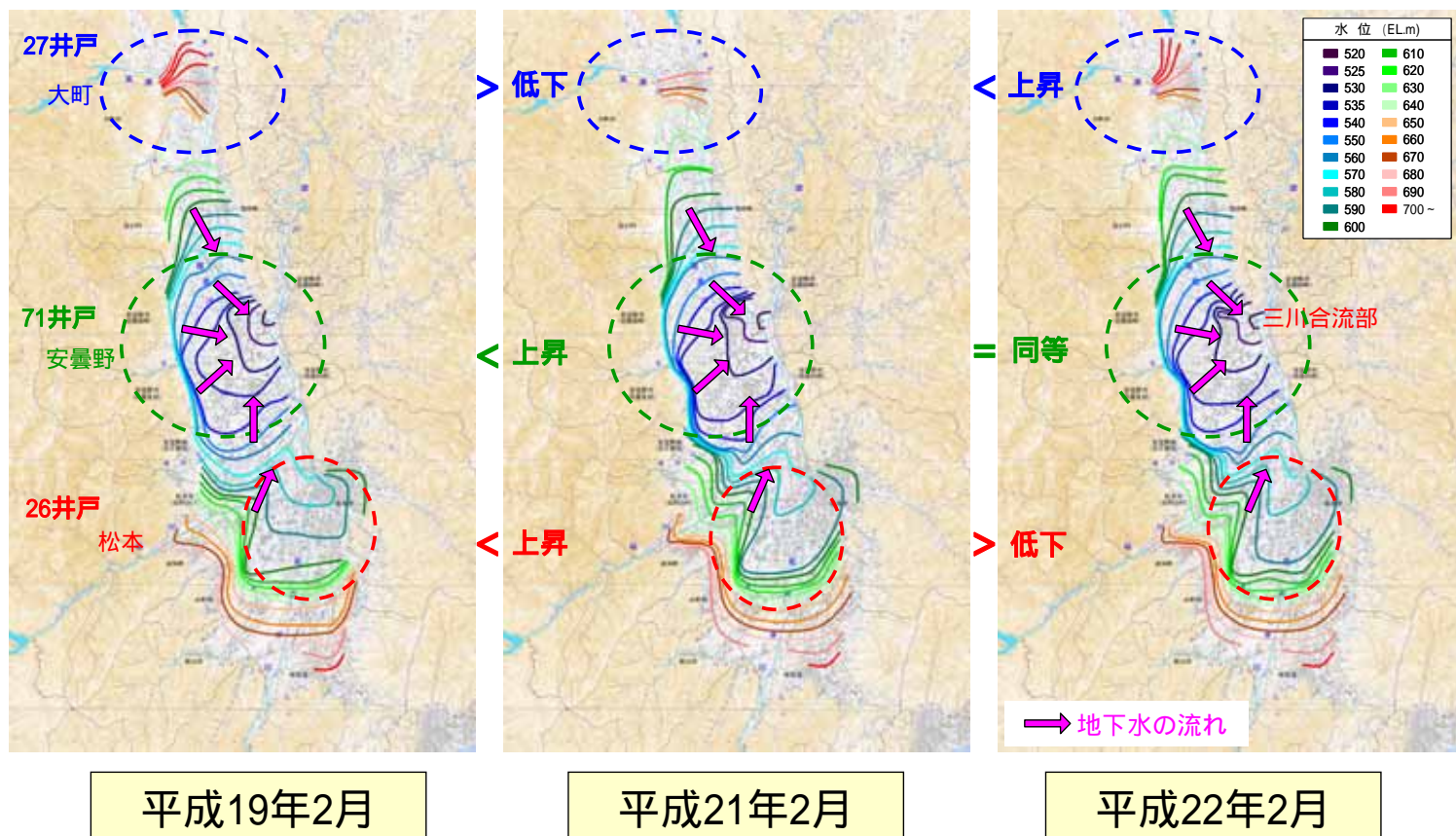
標高の高い場所ほど深い井戸となるが、浅井戸・深井戸が混在している場所もある。



17

D-3. 松本盆地の地下水変動の比較

- 地下水は三川合流部に向かって流動している。
- 各ブロック毎(大町、安曇野、松本)の地下水変動は下図のとおり。



18

D-4. 松本盆地の地下水の水面勾配

・地下水の水面勾配は、高瀬川沿い(A-A)、奈良井川、梓川沿い(C-A)、鳥川沿い(B-A)の順に大きい。

・流下時間はダルシー則によると、高瀬川上流の地下水が三川合流点に到達するまでの時間は70年程度となる。

・三川合流点周辺では地下水が地表面の1~2m下、上流部では数十m~100m以上下に位置する。

・このような賦在形態の差は地下水の涵養メカニズムの相違を示唆している。

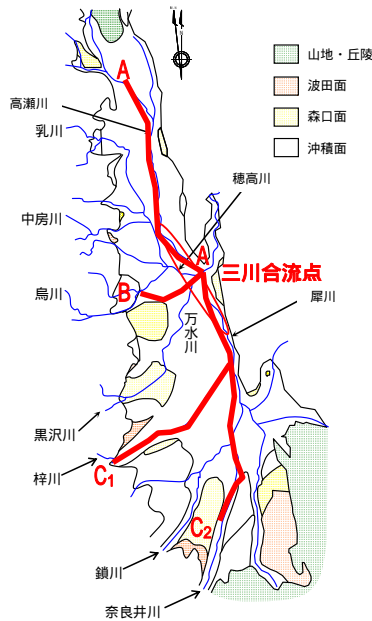
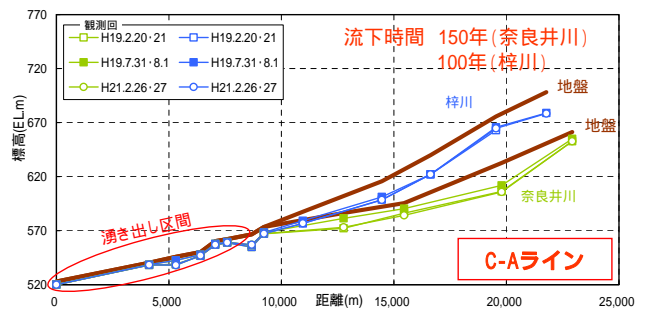
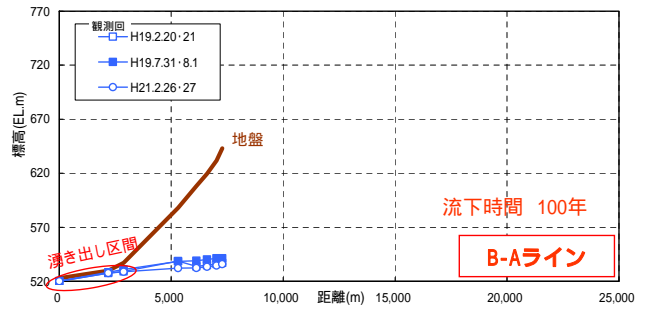
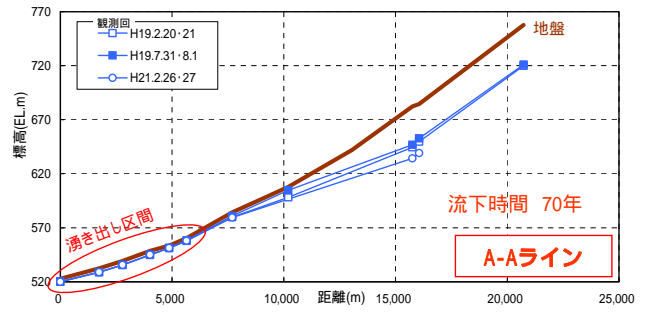
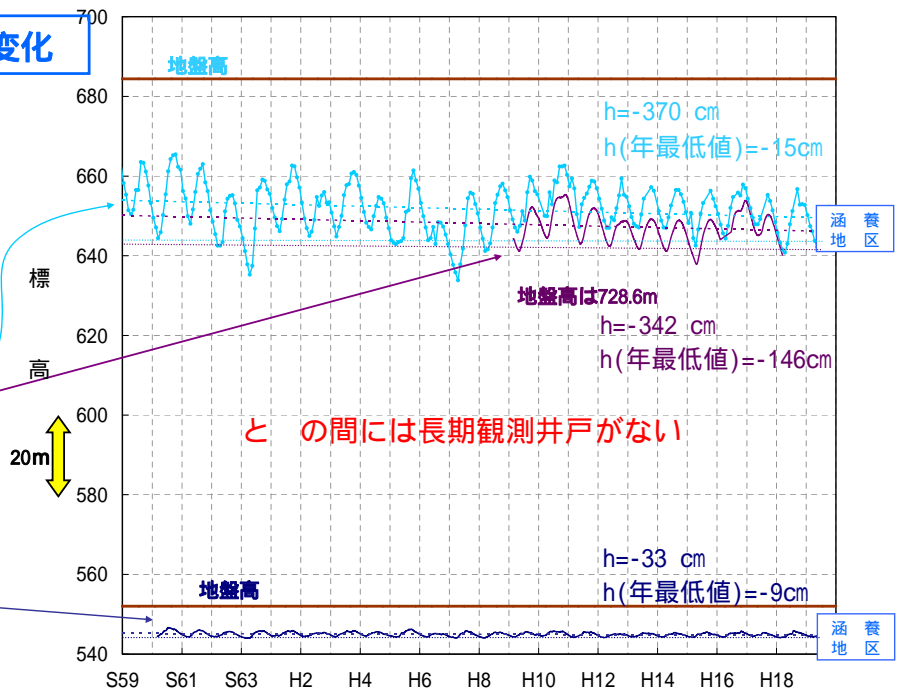
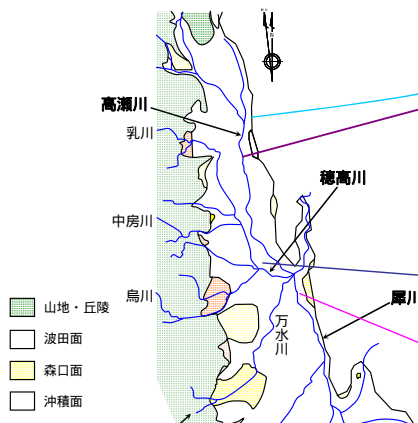


図 地下水の水面勾配



D-5. 松本盆地北部の地下水変動経年変化

- ・松本盆地北部の地下水変動は上流部の大町地区(●)で年間変動が大きく、三川合流部(○)では年間変動が小さい。
- ・昭和60年以降の地下水位の変動傾向を見ると、涵養地区(～)では上流部ほど地下水位が低下する傾向がある。



【長期地下水位トレンドの算出方法】

H19までの地下水位データに最小二乗法を適用して回帰直線を求め、その直線の傾きから近20年間の地下水位の変化量を算定した。また、同期間における年最低値を抽出し、同様の算定方法を用いて近20年間の最低地下水位の変化量を算定した。

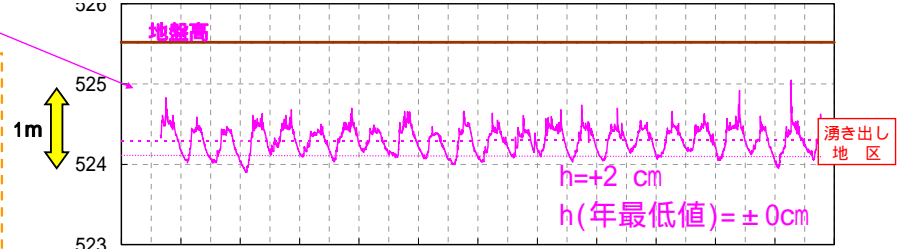


図 地下水位の経年変化

D-6. 松本盆地南部の地下水変動経年変化

- 松本盆地南部の地下水変動は上流部で年間変動(・)が大きく、松本湧水地区()、三川合流部()では年間変動が小さい。
- 昭和60年以降の地下水位の変動傾向を見ると、涵養地区(・・)では上流部ほど地下水位が低下する傾向がある。
- 年最低水位には大きな低下は見られない。

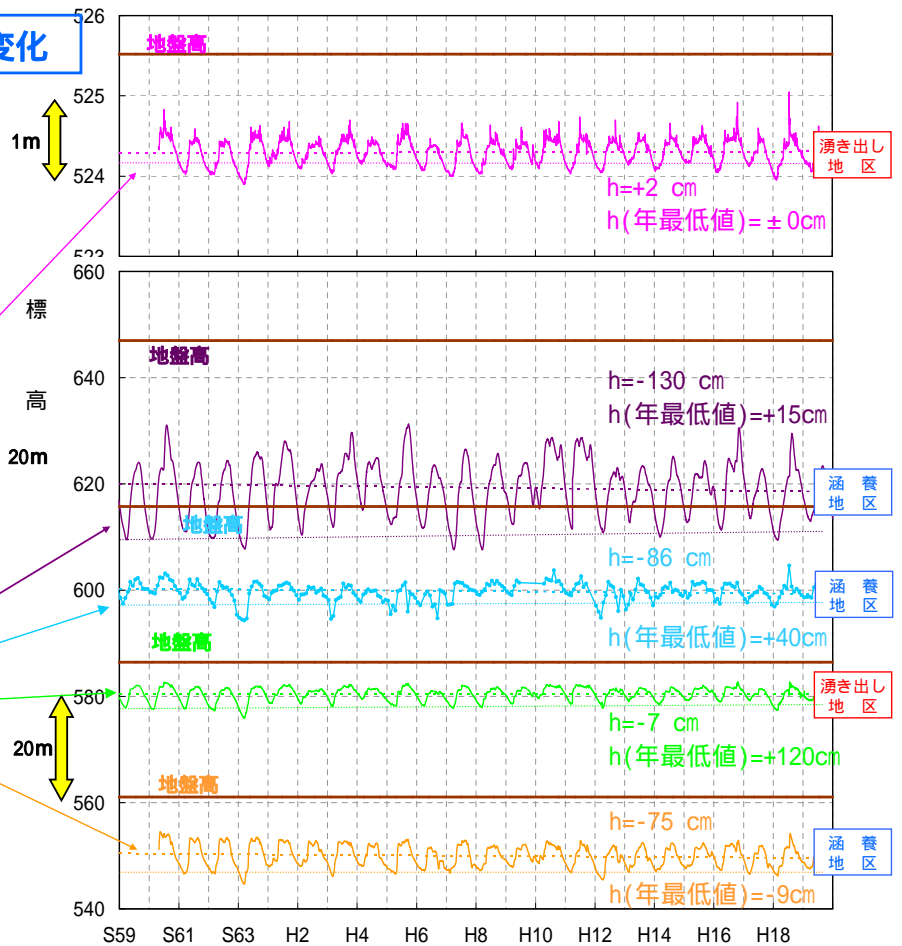
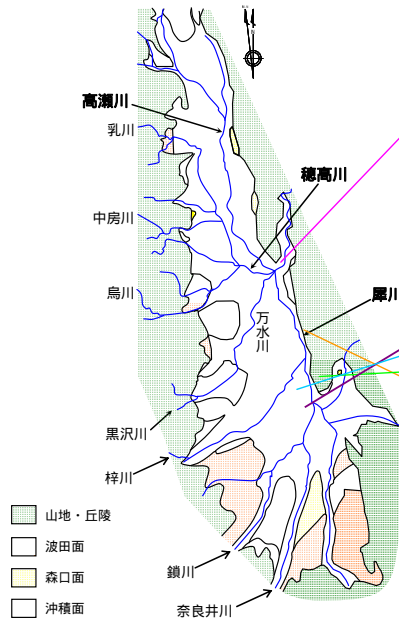
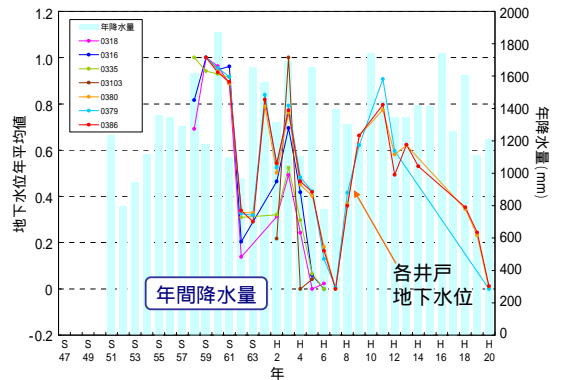


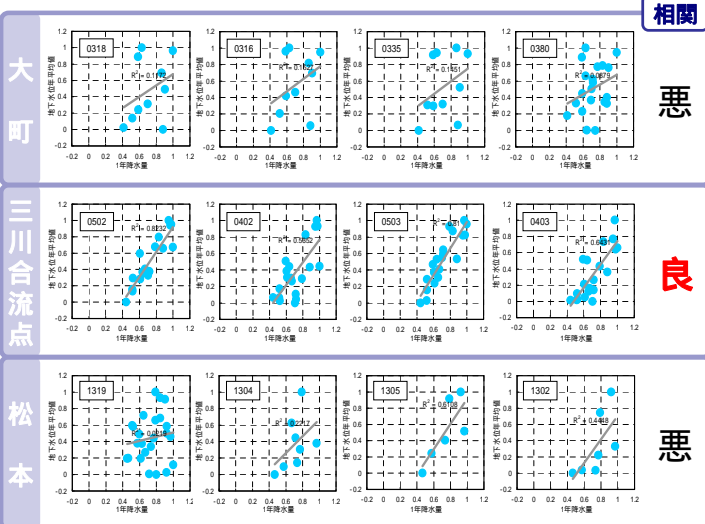
図 地下水位の経年変化

D-7. 松本盆地の地下水と降雨・降雪量の関係

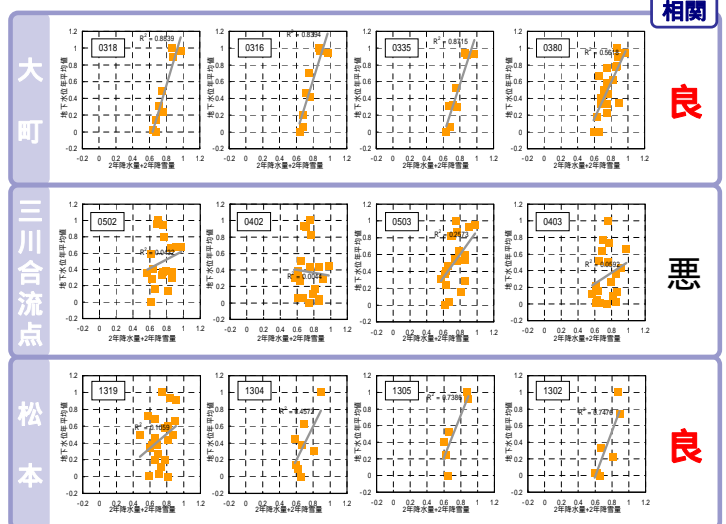
- 年平均地下水位と年間降水量の変動パターンは類似性がある。
- 降雨と地下水位の相関解析を行うと、
 - A. 三川合流部では、年平均地下水位は「年間降水量」と相関が良い。
* 4つの井戸の平均相関係数: 0.85
 - B. 大町・松本など地下水位が低い地域では、年平均地下水位は「前2年間降水量+降雪量」と相関が良い。
* 4つの井戸の平均相関係数: 大町0.88, 松本0.68
- これより、地下水は降水量との関係が非常に大きい。



A. 年平均地下水位と「年間降水量」の相関



B. 年平均地下水位と「前2年間降水量+降雪量」の相関



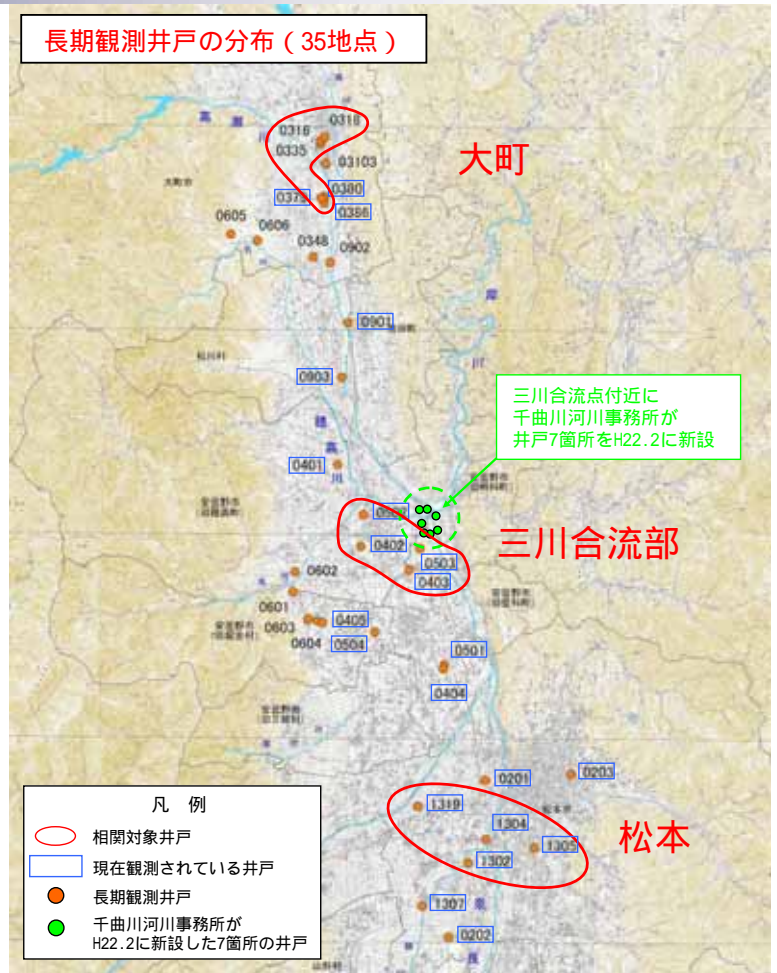
D-8. (参考図) 長期観測井戸

- 長期の地下水観測を行っている井戸は35地点。
- 相関解析の対象井戸の観測期間は以下の通りである。

地区	No	管理者	観測期間
大町	0318	東洋紡	S58.1~H7.3(廃止)
	0316	東洋紡	S58.1~H7.3(廃止)
	0335	東洋紡	S58.1~H7.3(廃止)
	0380	近藤紡績	S58.7~H22.2
安曇野	0502	農林水産省関東農政局 H22年度より安曇野市	S60.4~H22.2
	0402	経済産業省	S60.3~H22.2
	0503	農林水産省関東農政局 H22年度より安曇野市	S60.4~H22.2
	0403	経済産業省	S60.3~H22.2
松本	1319	松本市	S54.4~H22.1
	1304	松本市	H10.5~H22.1
	1305	松本市	H10.5~H22.1
	1302	松本市	H10.5~H22.1

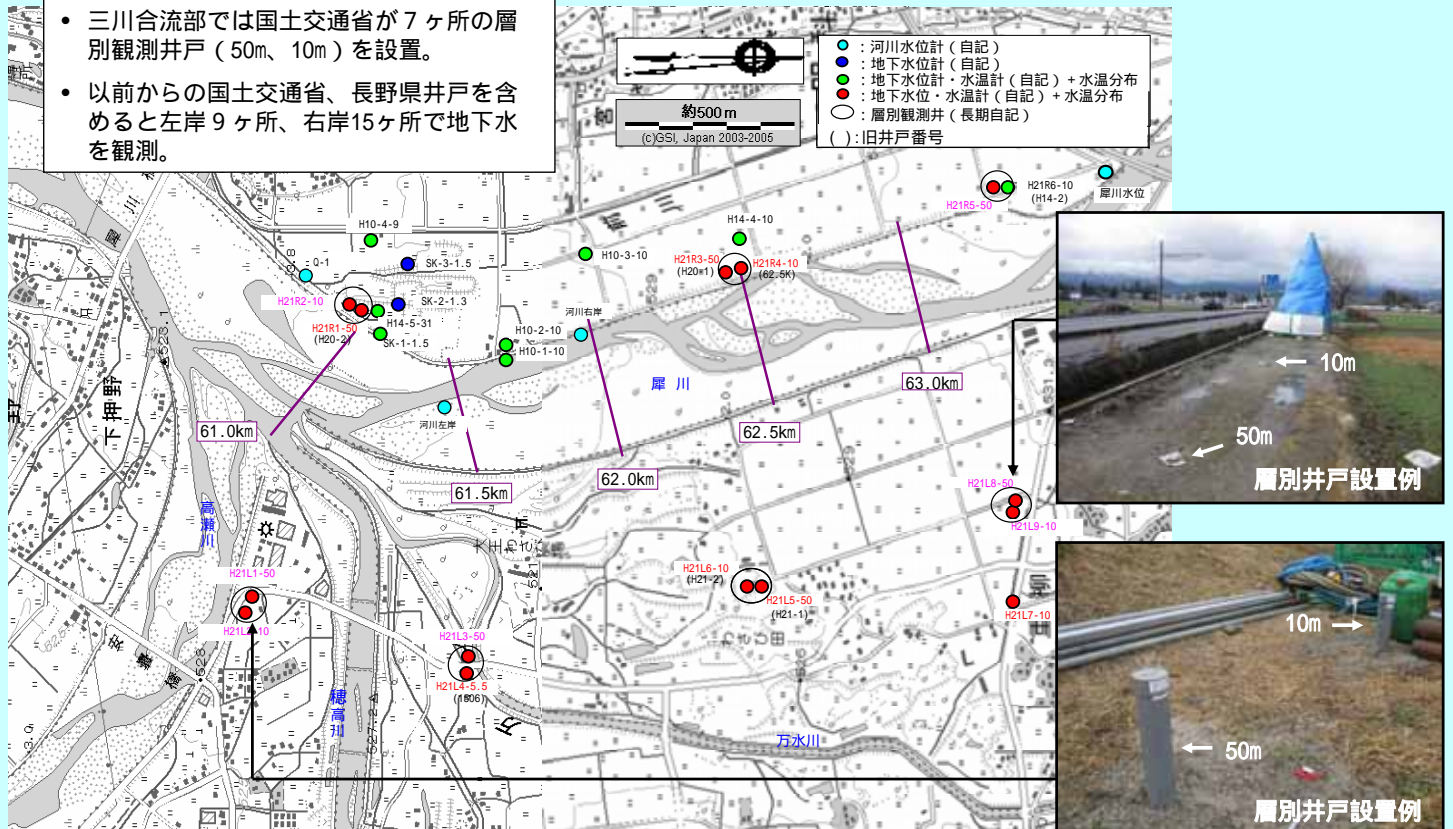
近年、長期観測井戸が廃止されており、大町や安曇野で、長期観測井戸の維持が必要である。三川合流点付近に千曲川河川事務所が長期モニタリング井戸7箇所をH22.2に新設。

長期観測井戸の分布 (35地点)

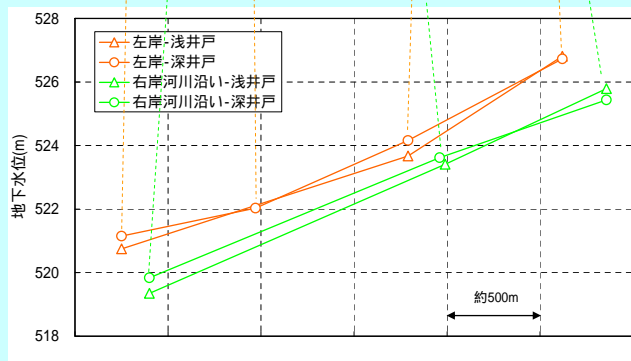
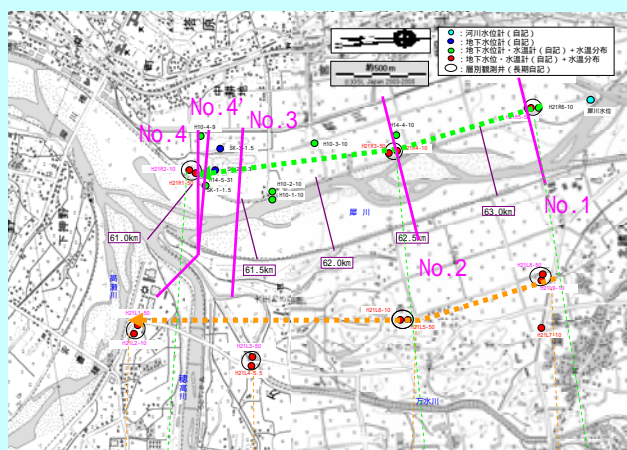


E-1. 三川合流部の観測井戸の配置状況 (H22.6現在)

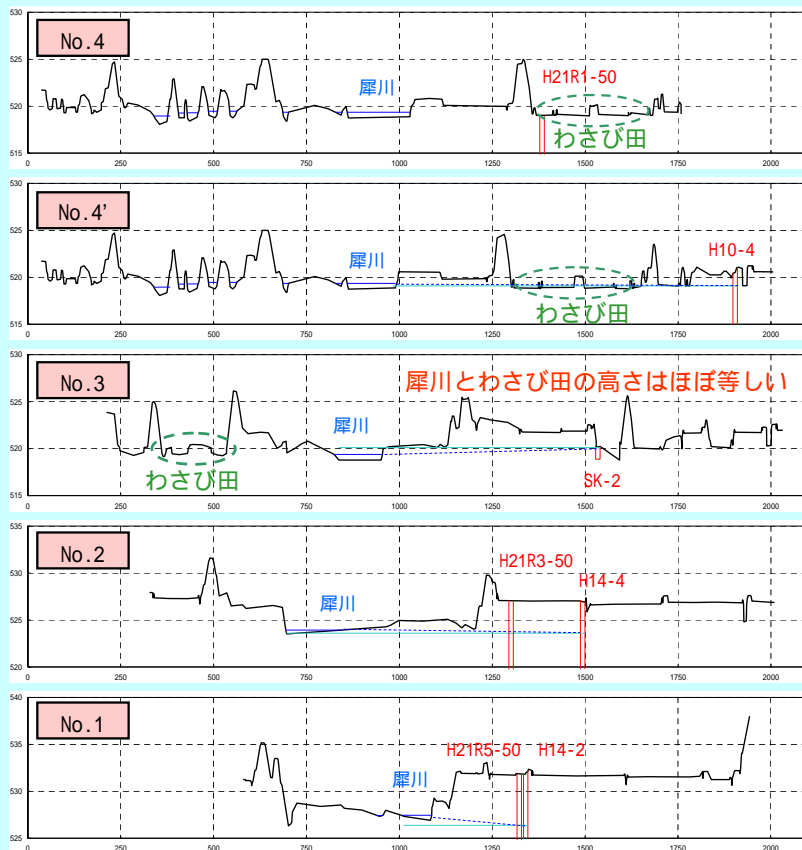
- 三川合流部では国土交通省が7ヶ所の層別観測井戸 (50m、10m) を設置。
- 以前からの国土交通省、長野県井戸を含めると左岸9ヶ所、右岸15ヶ所で地下水を観測。



E-2. 三川合流部の横断面図と地下水位縦断面図



地下水位縦断面図 (H22.2)



E-3. 三川合流部の地下水涵養

- ・三川合流部の犀川左右岸は犀川の旧河道である。
- ・犀川右岸の浅層地下水位は犀川の流量変動と鋭敏に対応。左岸地下水位は河川の微妙な水位変化が現れていない(観測地点が犀川から離れていることも関係)。
- ・明科地区の犀川同時流観によると光橋下流付近で $3.5\text{m}^3/\text{s}$ が伏没、三川合流部付近で $5.2\text{m}^3/\text{s}$ の湧出を確認。



明科地区の地下水は犀川との関係が大きい

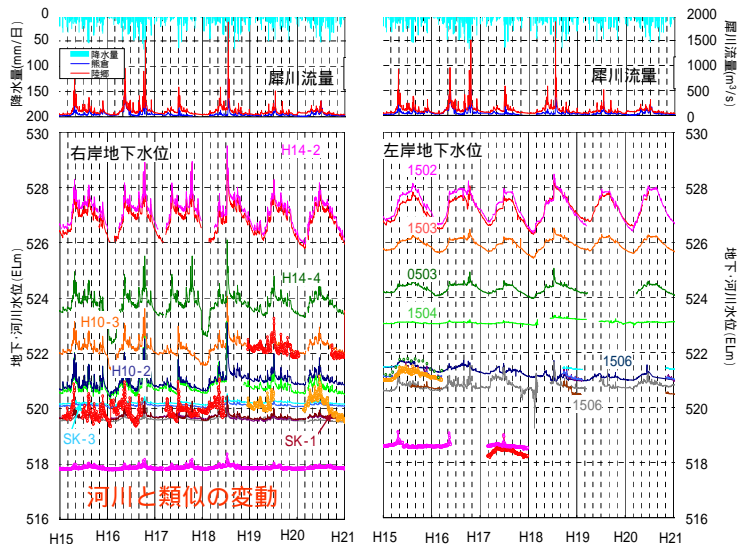


図 犀川流量と犀川左右岸の地下水位の関係

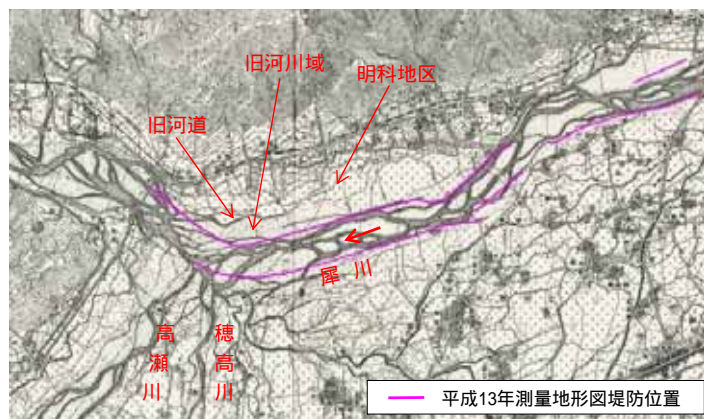


図 明治43年地形図(原寸1/25,000)



図 伏没・湧出量の観測

E-4. 三川合流部の河川水位と地下水位の関係

・右岸は、**上流部は地下水位 < 河川水位**、
下流部は地下水位 > 河川水位 であり、
同時流観の伏没傾向、湧出傾向を説明できる。

・左岸は、**地下水位 > 河川水位** であり、湧出傾向を示す
(地下水位計が川から少し離れていることもある)。

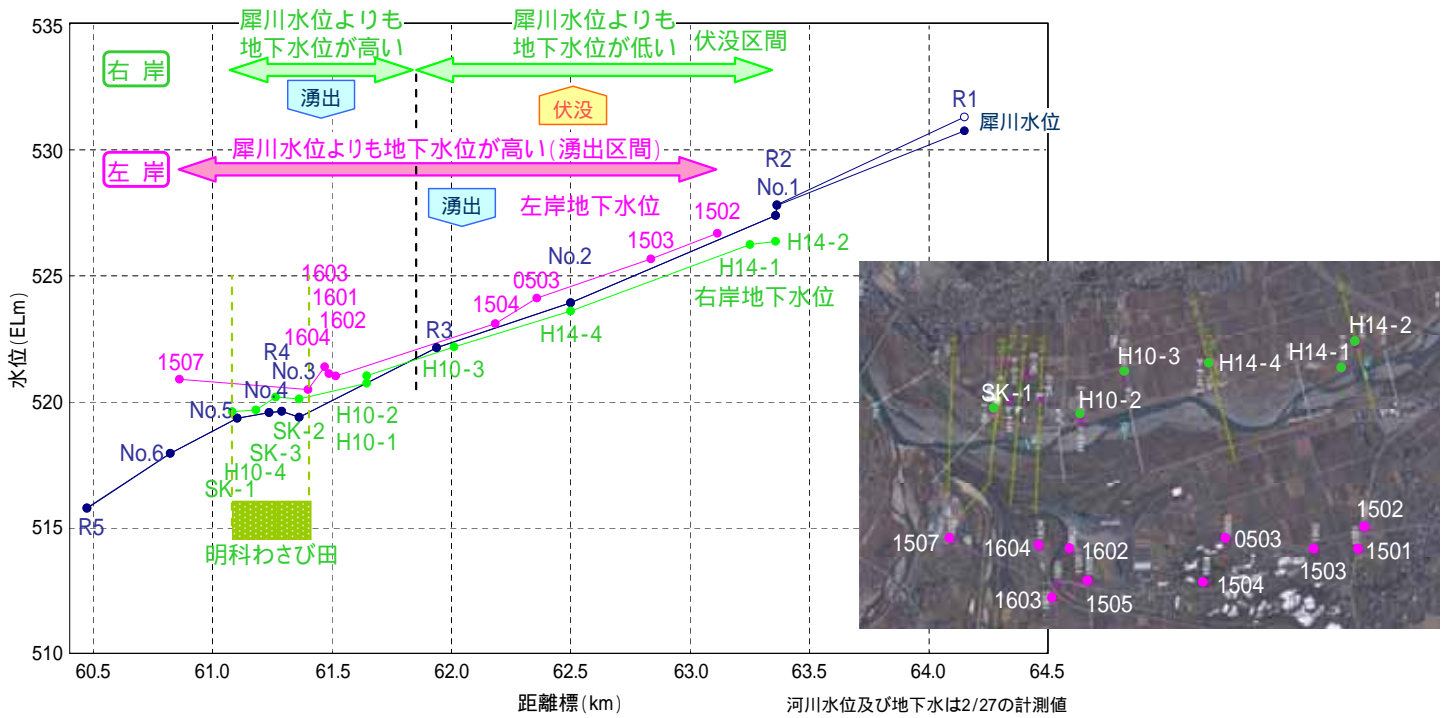


図 犀川河川水位と左右岸地下水位の関係

E-5. 三川合流部の出水状況

- ・平成18年7月洪水時の三川合流部の空中写真
- ・洪水の流れは犀川本川が主流となっているのが確認できる

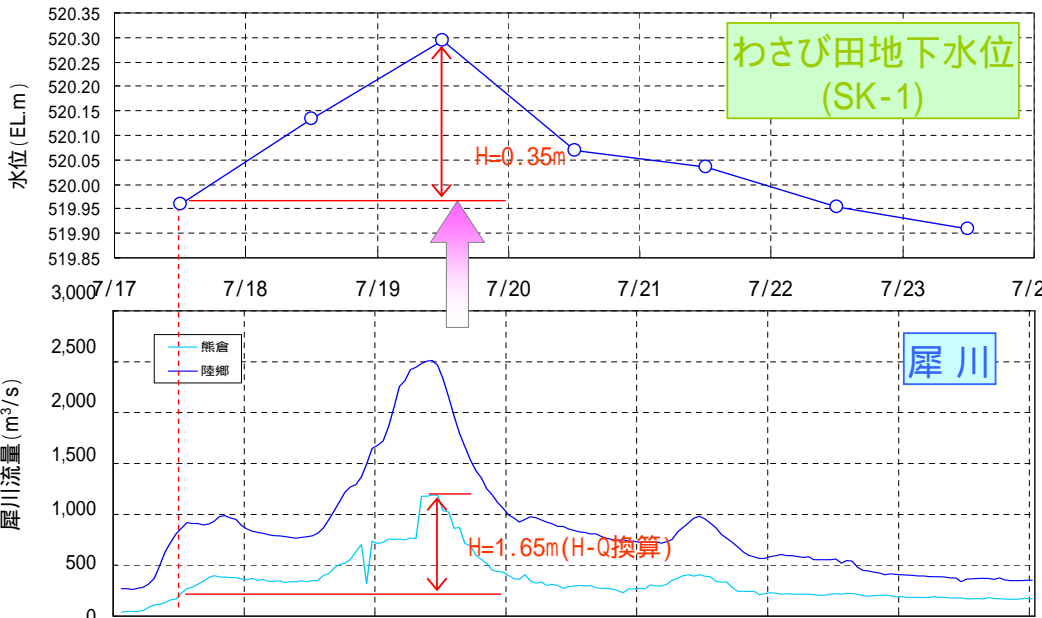


E-6. 三川合流部で洪水時に生じた現象

- 平成18年7月洪水時に、河川水位の上昇に伴い明科地区地下水やわさび田水位が上昇



明科地区の地下水は犀川との関係が大きい



犀川熊倉の1.65mの水位上昇に対し、明科地下水は約35cm上昇



図 犀川の増水と明科わさび田地下水位の上昇(H18.7洪水)

E-7. 三川合流部、ブロックによる河川水位上昇

- 平成18年7月洪水時に、明科わさび田近傍の滲筋が変化し、河床が低下
- 堤内地のわさび田湧水量が減少し、協議会から河床の低下対策・安定措置への要望



明科わさび田近く、御宝田に異型ブロック設置

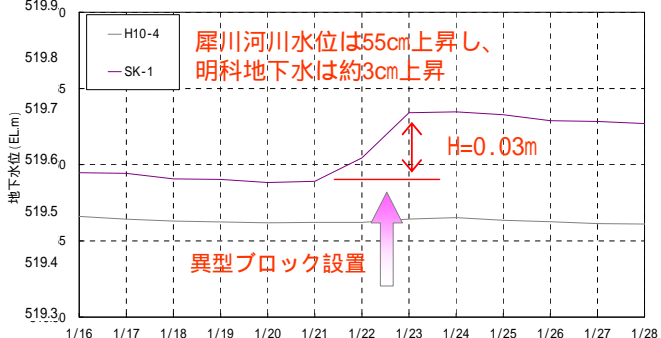
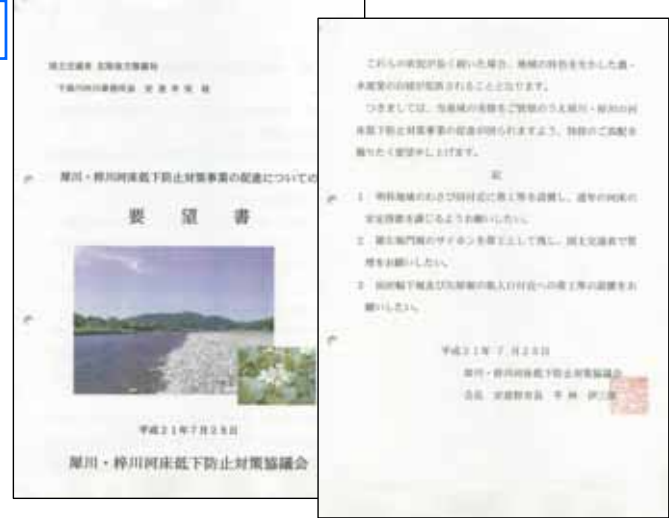
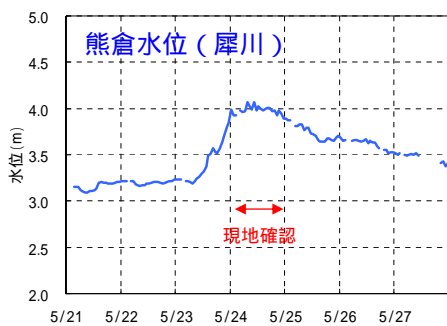


図 異型ブロック設置による犀川水位上昇と明科わさび田地下水位の上昇

E-8. H22年5月24日洪水時のわさび田水位の増加（1）

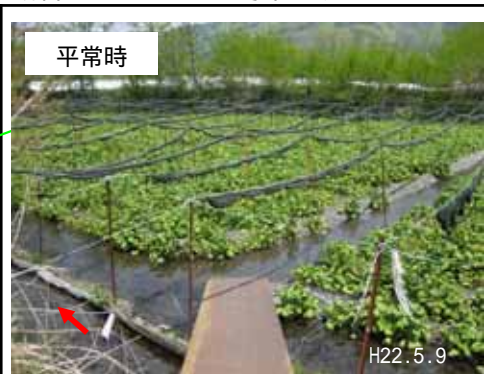
- 平成22年5月24日に犀川で出水し、河川水位が1.5m以上上昇。
- その際に、明科わさび田水位が平常時より約20cm上昇していた。
- 出水時も透明度は変わらない。湧水量が増加。



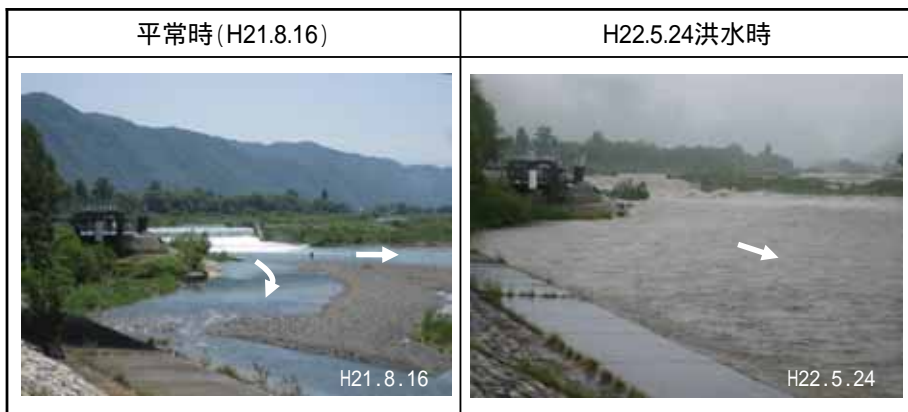
平常時と出水時の井戸状況



明科地区わさび田の水位上昇



中部電力取水堰



31

E-9. H22年5月24日洪水時のわさび田水位の増加（2）

- 明科わさび田排水路で、水路の仕切り板が水没するまでわさび田及び排水路水位が上昇
- 大王わさび田排水路でも、通常は最大30cm程度の水深が1m程度まで上昇
- 透明度は変化せず

A. 明科わさび田排水路水位上昇



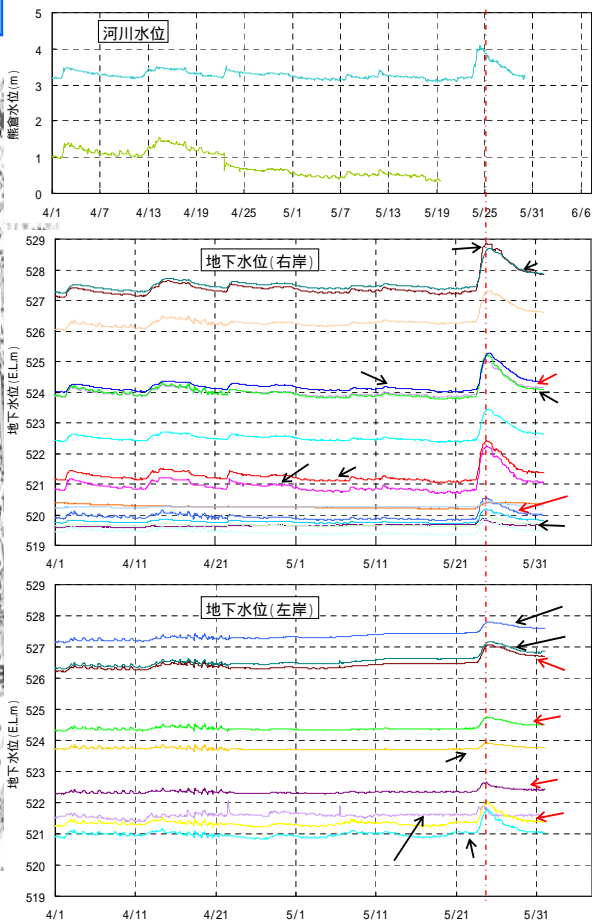
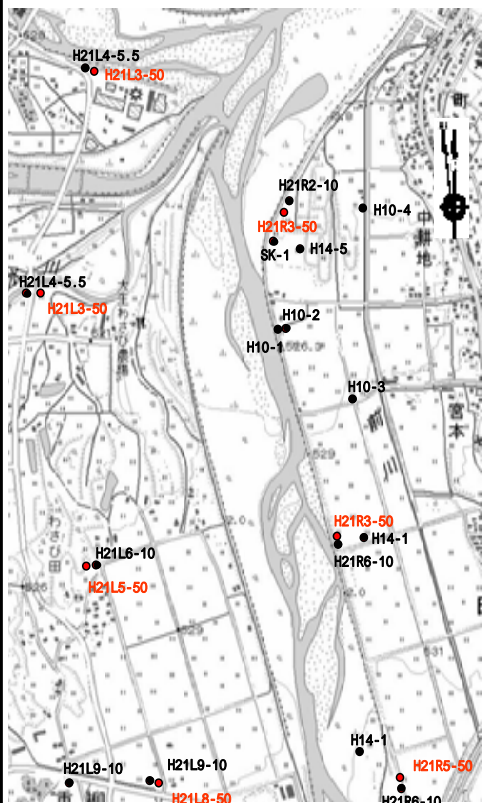
B. 大王わさび田排水路水位上昇



E-10. H22年5月24日洪水時のわさび田水位の増加(3)

- E-1のように国交省が観測している左岸9ヶ所、右岸15ヶ所の地下水位観測結果を右に示す。
- データは10分間隔で記録している。
- ~ で示した50m井戸の地下水位は河川水位波形と連動し、上流ほど地下水位上昇が大きい。⇒ 深い井戸も河川水位と密接に関係している。
- ~ で示した10m井戸も50m井戸と同様の傾向を示す。

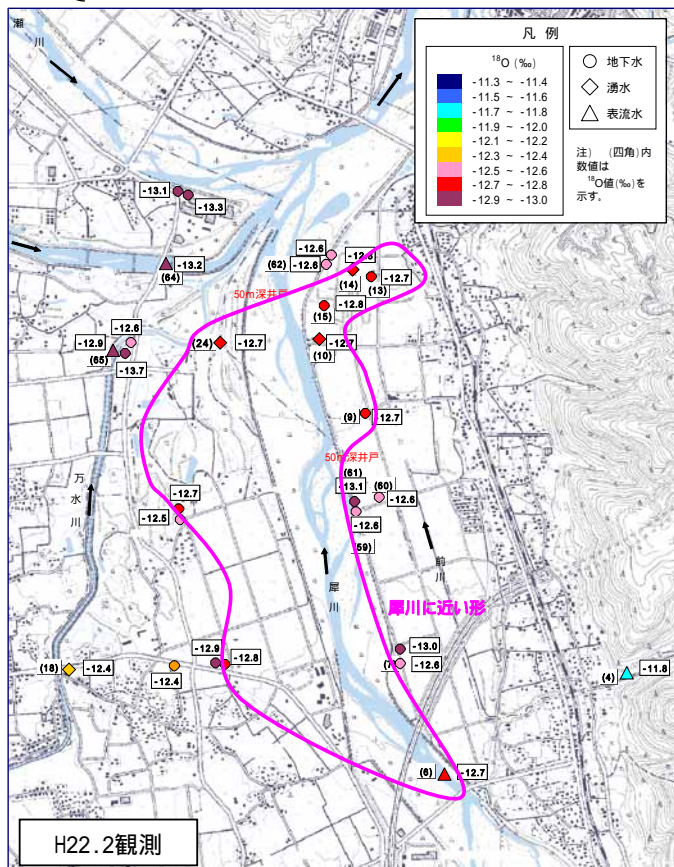
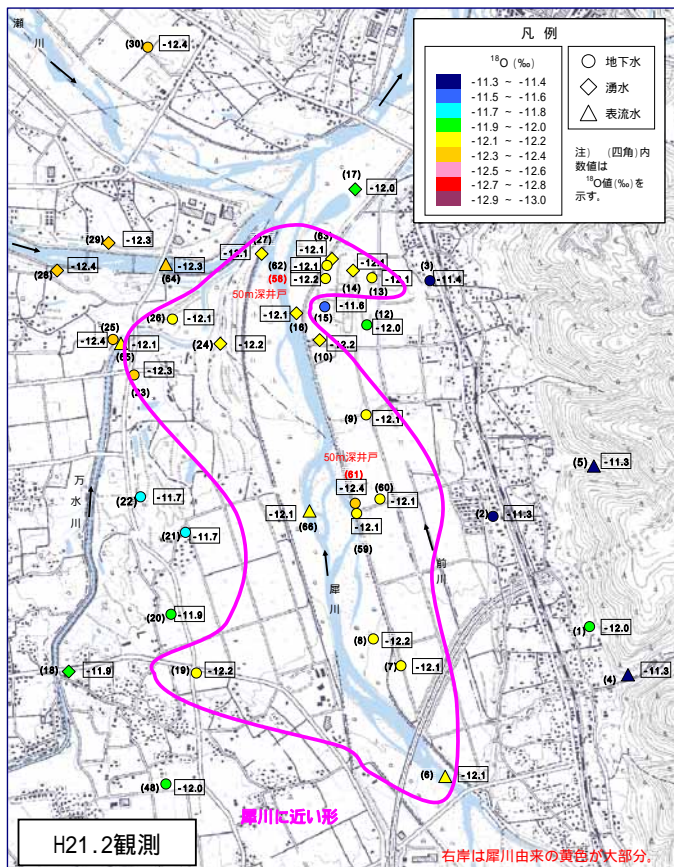
三川合流部の地下水は、浅層も深層も河川水と連動している。



E-11. 三川合流部の地下水水質 (1. 安定同位体)

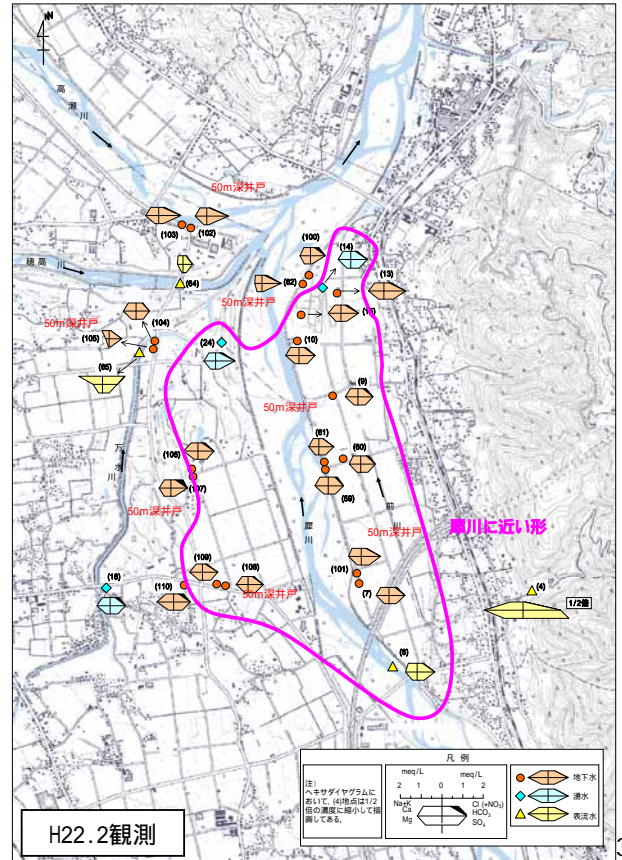
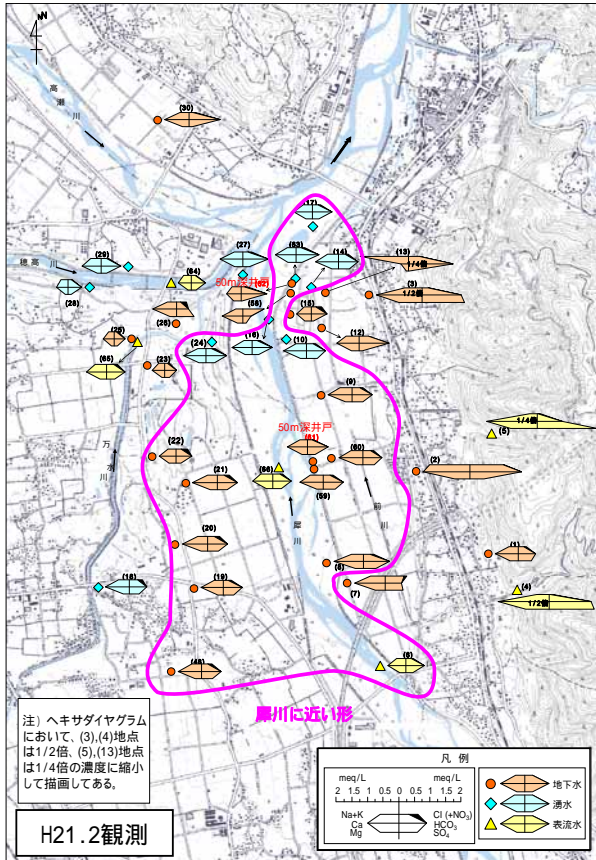
- 犀川右岸（明科地区）の浅層地下水は、犀川との類似性が高い。
- 犀川左岸の地下水には穂高川や湧水公園の湧水の影響がみられる。

同位体の値は季節によって変わるため、地下水となって流下時間が遅れると、過去の河川水が地下水として流れていることになるため、同位体の値は現時点の河川水の値と若干異なる場合もある。



E-12. 三川合流部の地下水水質 (2. ヘキサダイアグラム)

- ・ 犀川右岸（明科地区）の浅層地下水は、犀川との類似性が高い。
- ・ 犀川左岸の地下水には穂高川や湧水公園の湧水の影響がみられる。

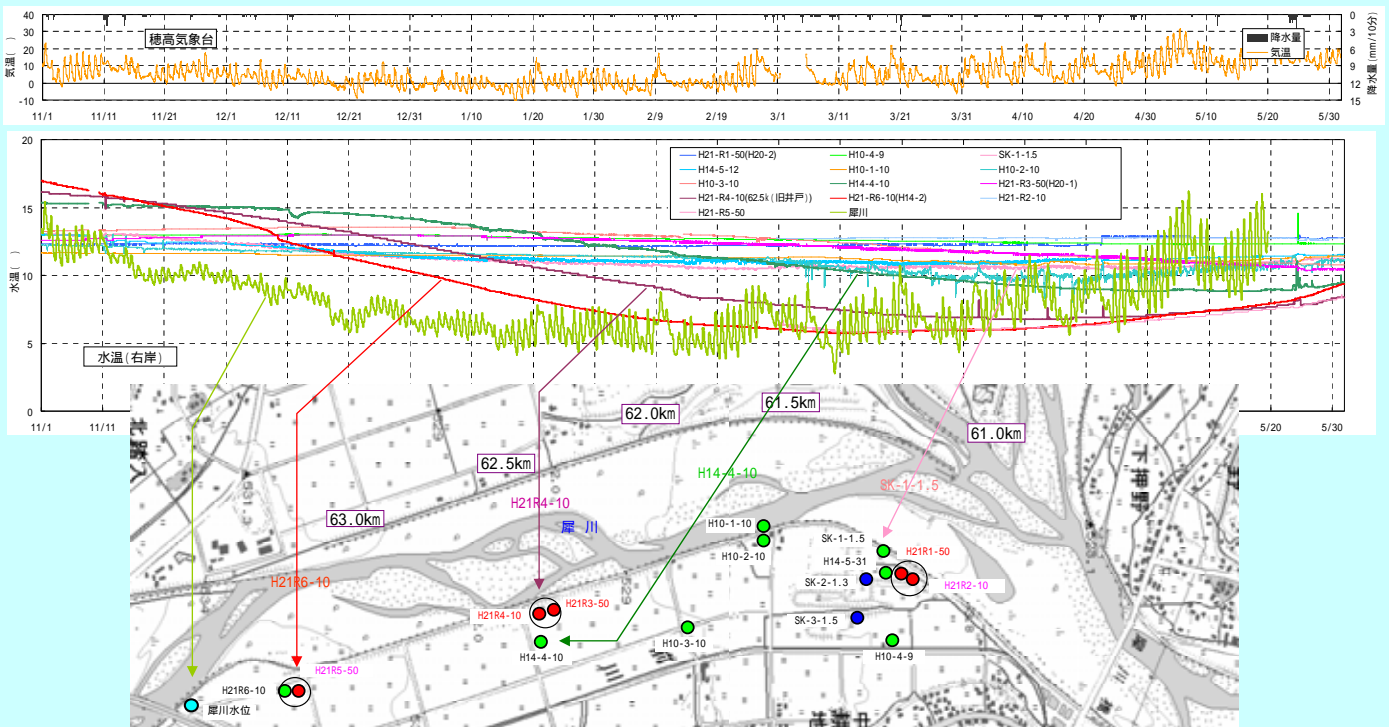


35

E-13. 浅井戸の季別水温の変化 (1)

- ・ 右岸の浅井戸の一定深度(5~6m)の地下水温を自記観測
- ・ 季別に変化する犀川の水温の波形が上流の井戸から下流の井戸へ伝播しやがて一定の水温になる。

右岸浅井戸の地下水は犀川の水が流れている



36

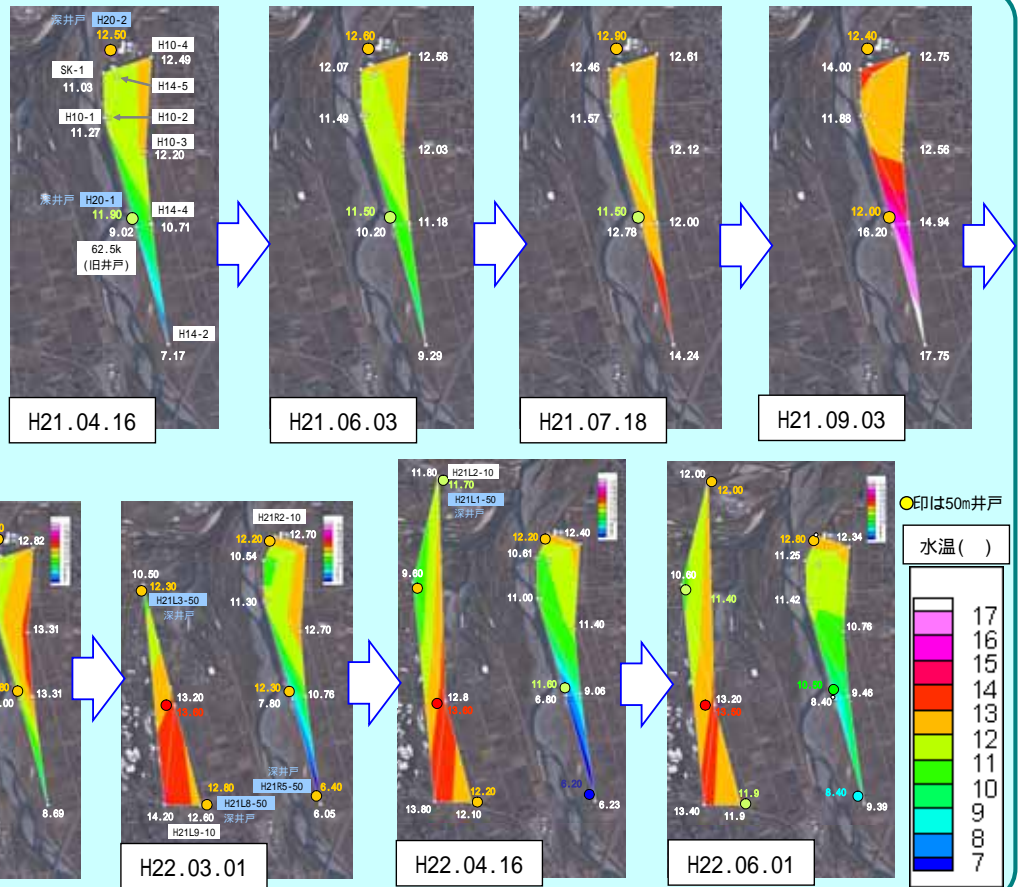
E-14. 浅井戸水温の季節変化(2)

水温平面図

上流では水温の変化量が大きく、下流で小さい。上流で生じた水温の変化は徐々に下流側に伝わっていく。

上流(H14-2)の水温は概ね犀川の河川水温に一致し、下流の水温は概ね地中恒温層温度(約13)に一致。

(総括) 光橋上流で犀川から伏没・浸透した水が、下流へ流下しながら伝熱し、地中温度に収束しているものと考えられる。



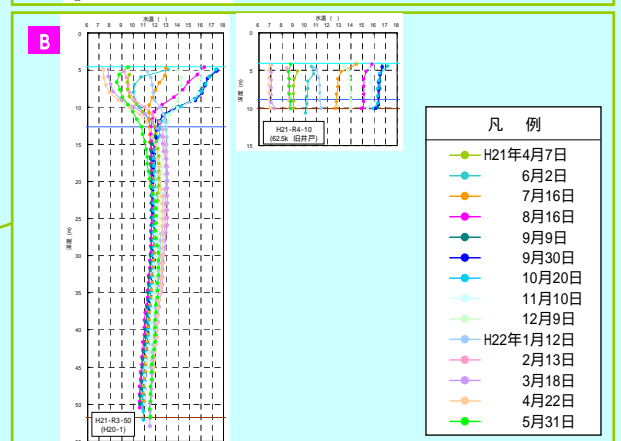
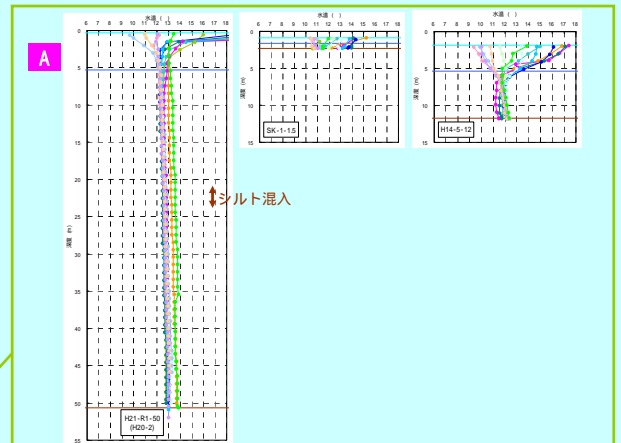
E-15. 水温の鉛直分布(1)代表例

A地点：50m井戸は底部が上部より水温が1程度高い。

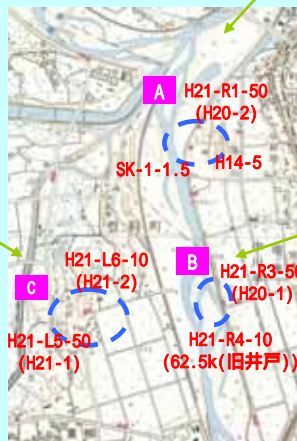
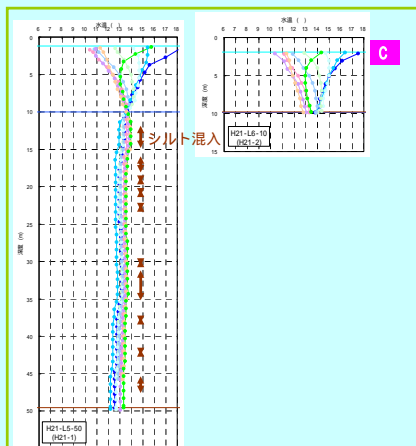
B地点：H21-R5(50m)、H21-R4(10m)は、同深度の水温が大きく異なり、深層と浅層で地下水涵養起源が異なることを示唆する → 浅層は犀川伏流水と考えられる

C地点：左岸のH21-L5(50m)、H21-L6(10m)は、(表層付近の)類似性が高い。50m井戸の上部は、管の外側を流れる地下水水温の影響を受けていると考えられる。

A、B、Cの関係：3本の50m井戸は、底部の水温が、Aは13~14、Bは11~12、Cは12~13であり、異なっている。下流のAが最も高いのは滞留時間が長いことと関係していると考えられる。



凡例	
●	H21年4月7日
●	6月2日
●	7月16日
●	8月16日
●	9月9日
●	9月30日
●	10月20日
●	11月10日
●	12月9日
●	H22年1月12日
●	2月13日
●	3月18日
●	4月22日
●	5月31日

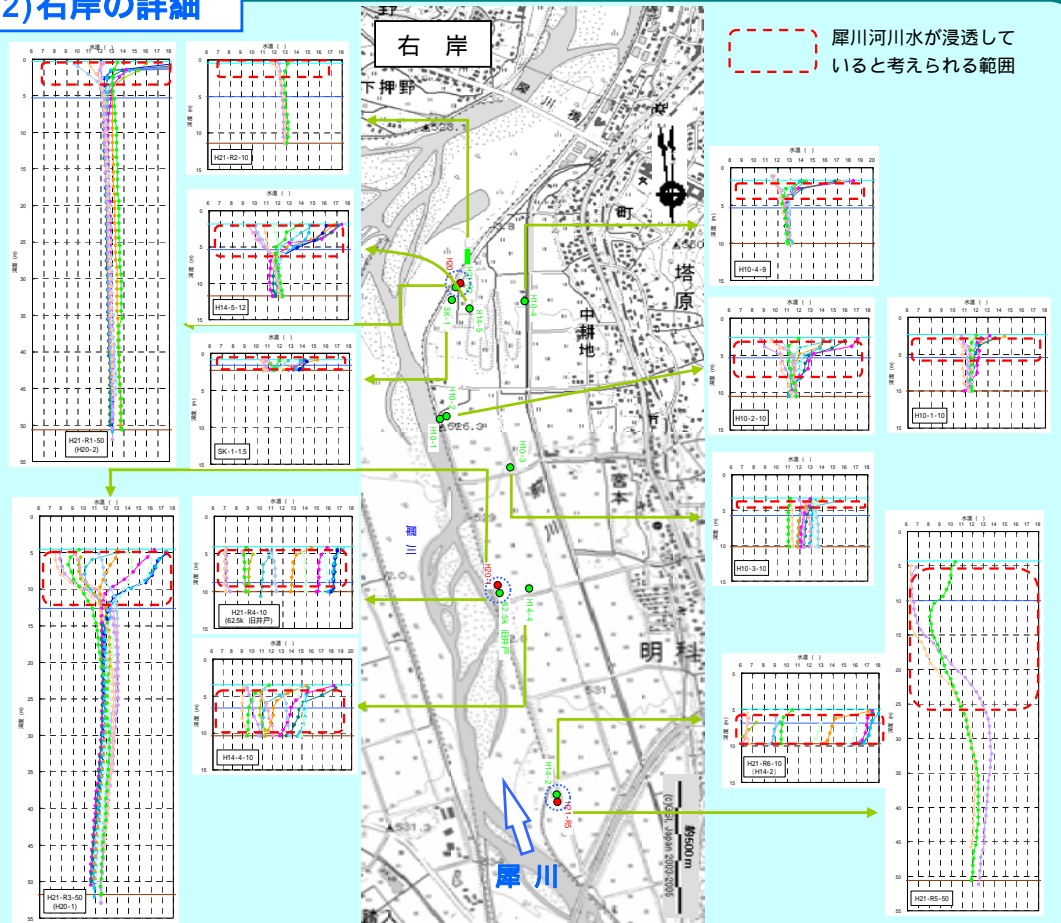


E-16. 水温の鉛直分布(2) 右岸の詳細

表面付近に見られる水温分布の季節変化は周囲を流れる犀川伏流水の影響であると考えられる。

上流ほど影響範囲が深く、下流に向かって影響範囲が浅くなっていく。

凡 例	
●	H21年4月7日
●	6月2日
●	7月16日
●	8月16日
●	9月9日
●	9月30日
●	10月20日
●	11月10日
●	12月9日
●	H22年1月12日
●	2月13日
●	3月18日
●	4月22日
●	5月31日



E-17. 水温の鉛直分布(3) 左岸の詳細

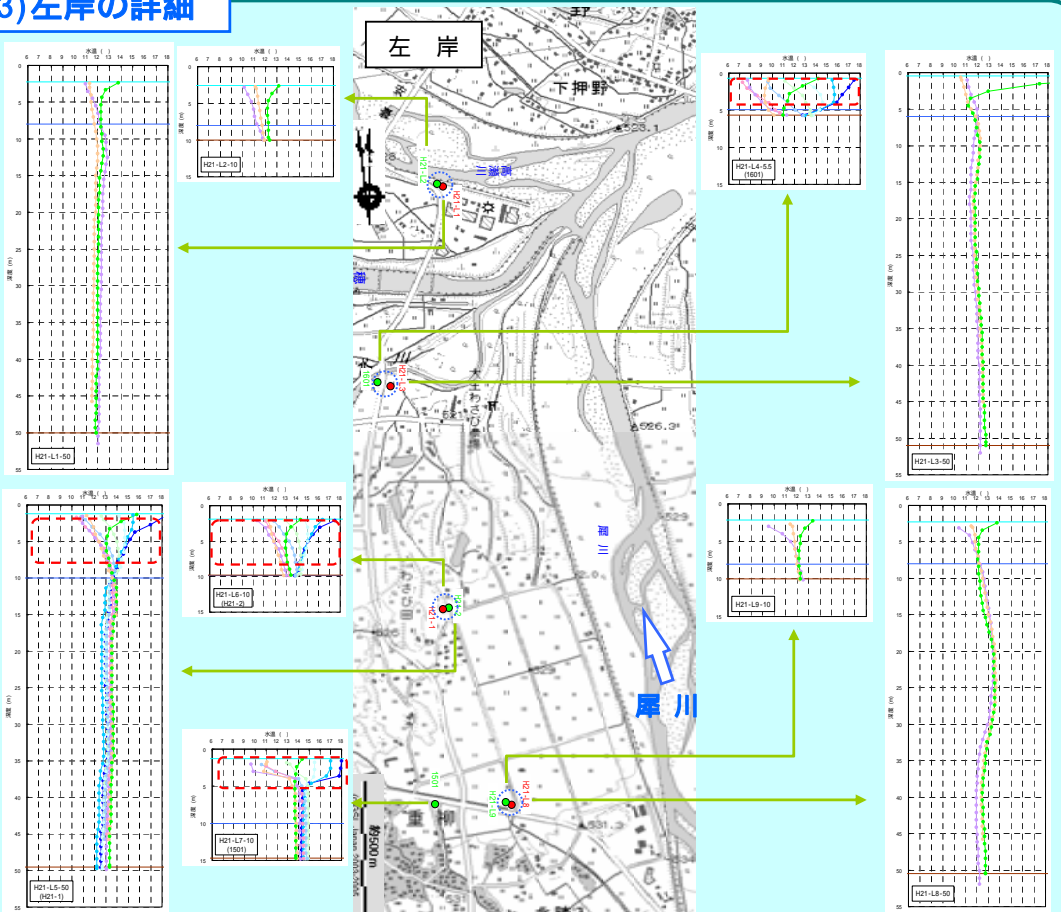
表面付近に見られる水温分布の季節変化は周囲を流れる犀川伏流水の影響であると考えられる。

H21-L4(1601)は、万水川の伏没・浸透の影響を受けていると考えられる。

新規の観測井戸が多くデータ数が少ないため、観測を継続してデータを蓄積させていく必要がある。

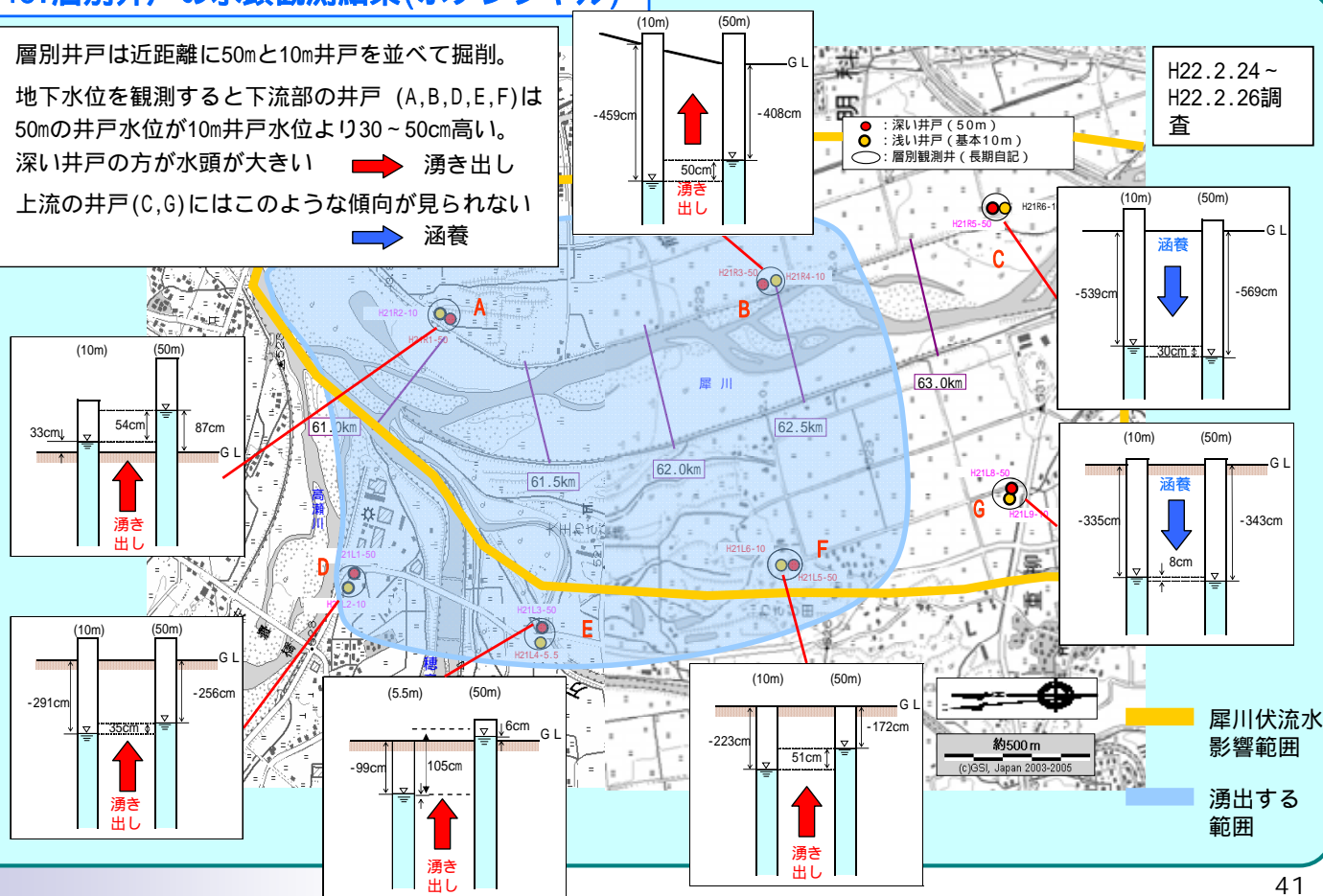
犀川河川水が浸透していると考えられる範囲

凡 例	
●	H21年4月7日
●	6月2日
●	7月16日
●	8月16日
●	9月9日
●	9月30日
●	10月20日
●	11月10日
●	12月9日
●	H22年1月12日
●	2月13日
●	3月18日
●	4月22日
●	5月31日



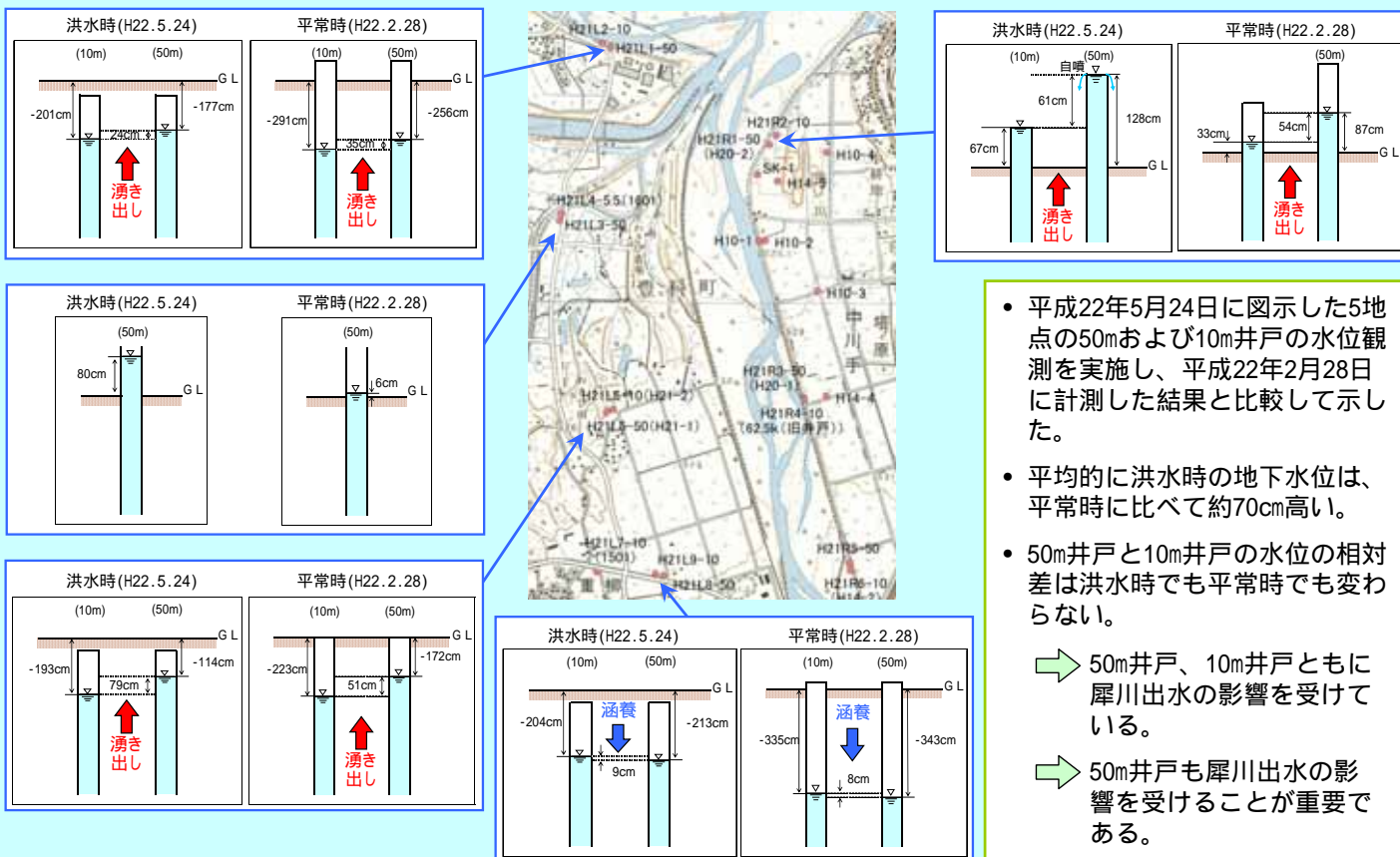
E-18. 層別井戸の水頭観測結果(ポテンシャル)

- 層別井戸は近距離に50mと10m井戸を並べて掘削。
- 地下水位を観測すると下流部の井戸 (A,B,D,E,F)は50mの井戸水位が10m井戸水位より30~50cm高い。深い井戸の方が水頭が大きい → 湧き出し
- 上流の井戸(C,G)にはこのような傾向が見られない → 涵養



41

E-19. 層別井戸の水頭観測結果 (H22.5.24出水時)

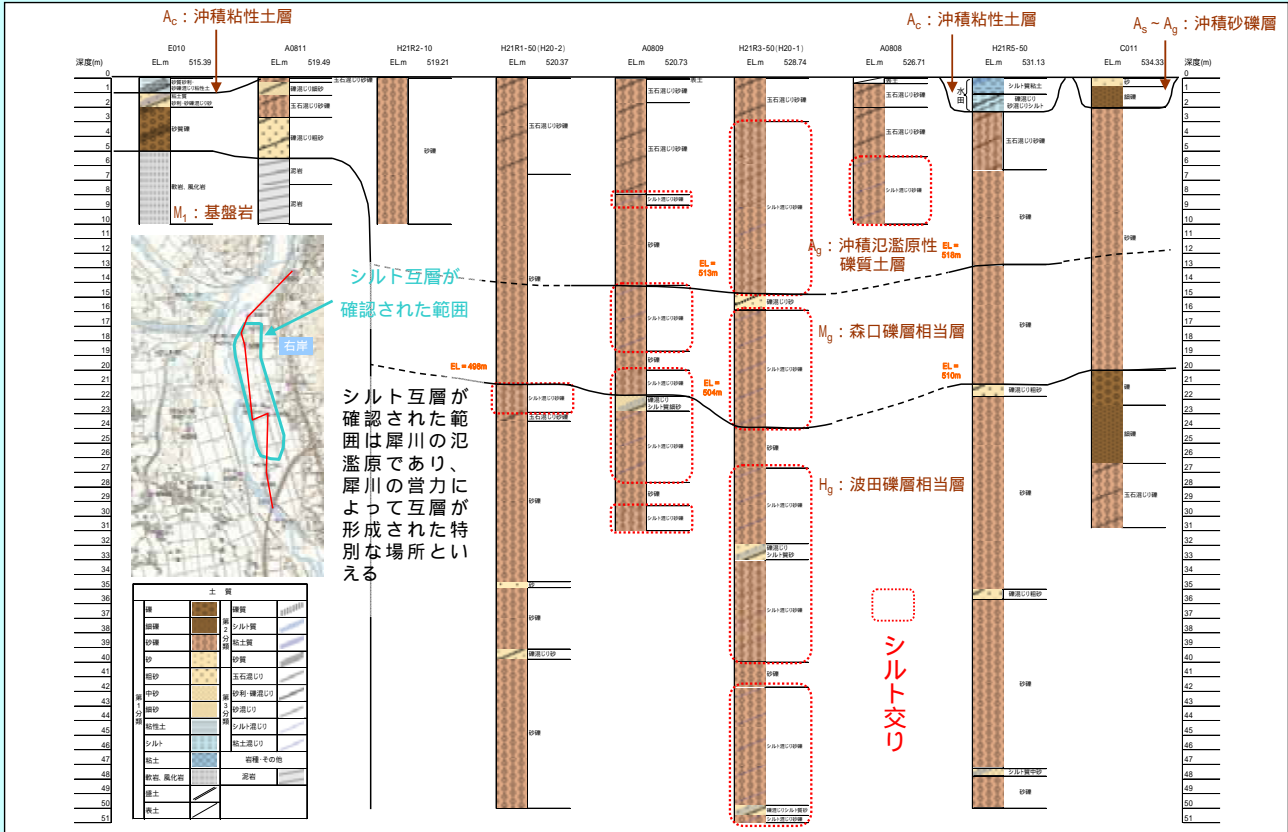


42

E-20. 三川合流部の地質（右岸）

犀川右岸では犀川旧河道跡に複雑なシルトの互層構造が確認された。

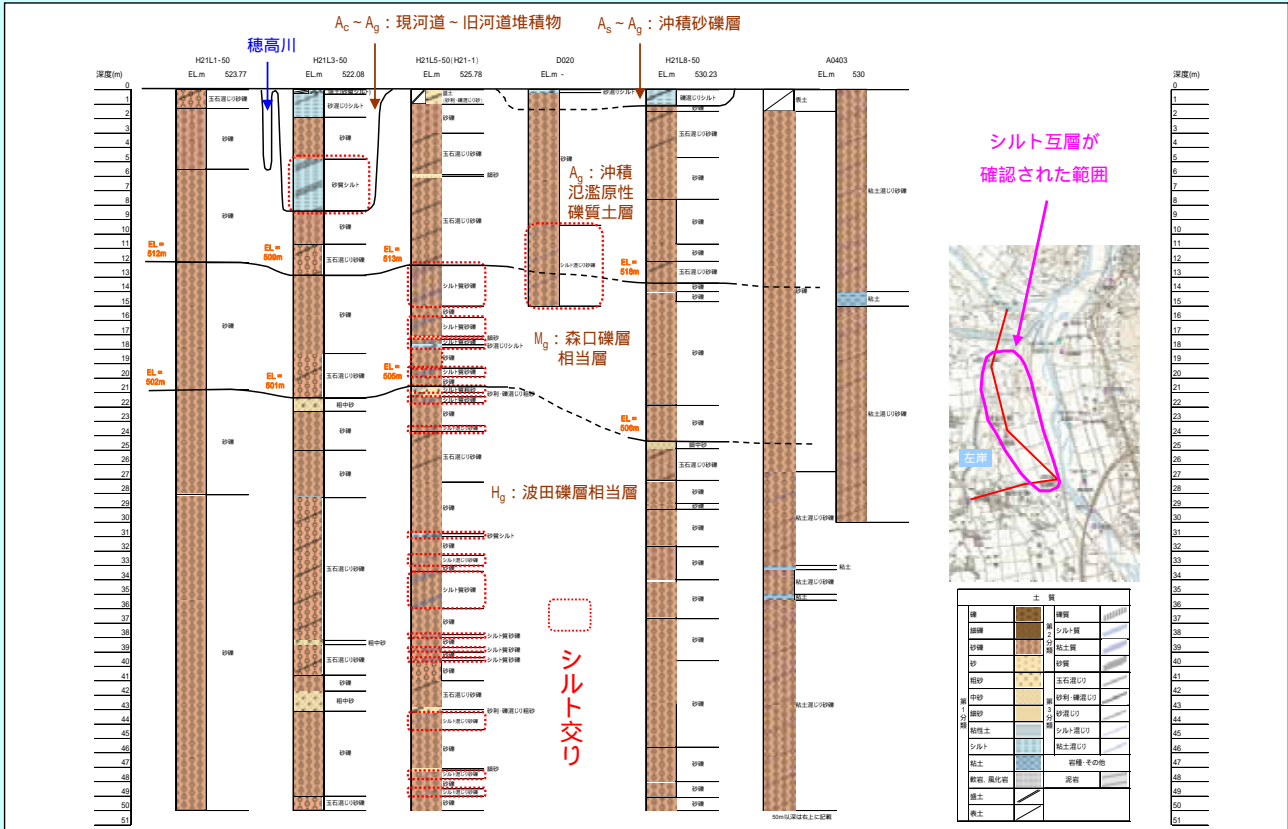
右岸



E-21. 三川合流部の地質（左岸）

犀川左岸でも、旧河道跡の範囲に、複雑なシルトの互層構造が確認された。

左岸



E-22. 三川合流部地下水湧出メカニズム (鉛直方向)

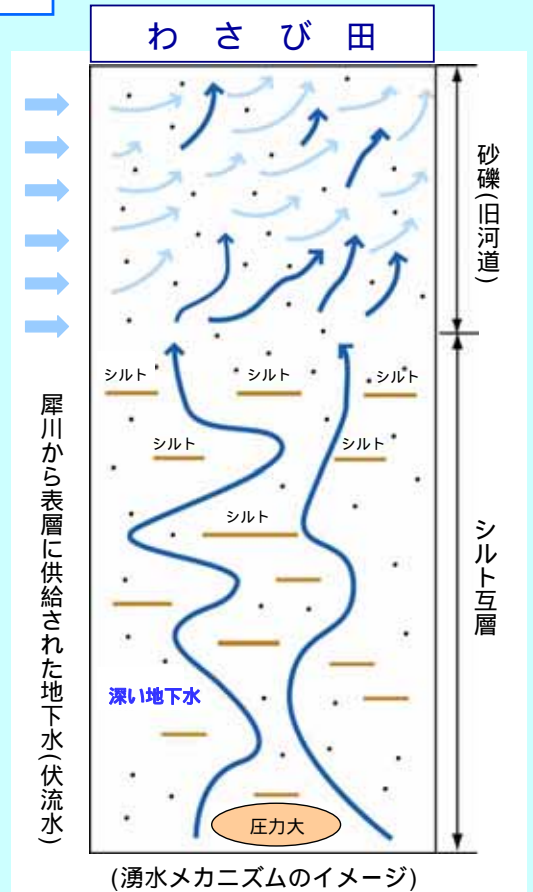
- ・深い地下水(50m)が浅い地下水(10m)より水位が高くなるA,B,D,E,F等の井戸は、シルト混じり層が複雑に存在している。
- ・場所によって異なる複雑なシルトの互層が砂礫の中に含まれている。一方、表層付近は単調な砂礫で構成されている。
- ・犀川左右岸の旧河道にこのような地層が形成されている。
- ・このような井戸は下の方が圧力(水頭)が高い。

・そのため、深い地下水がヘッド差で上方へ湧昇しようとする。

・犀川から旧河道の砂礫層に供給されている伏流水が、下方からの圧力で上方へ押し上げられる。

・深い層の地下水も湧昇するがシルトの互層のため鉛直方向の透水係数は横方向に比べて小さく、ジワジワと緩やかに流動する(圧力は伝わるが互層のため流れにくい)。

・大量に供給されている犀川伏流水が主体となって地表に湧出し、深い地下水も混合して地表に湧出。
・そのため湧水の水質等が犀川に近い。



45

まとめ

犀川の伏没現象が浅層地下水を涵養

犀川右岸は犀川の旧河道であり、地下水位は河川水に鋭敏に応答する。犀川左岸では、河川水に対する地下水の応答は、右岸に比べると鋭敏ではない。同時流観によると、光橋付近で最大 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度の伏没が確認され、水衝部の位置関係より右岸に伏没していると考えられる。これが地下水位を河川水位に鋭敏に反応させていると考えられる。右岸上流部の浅い地下水の水温は河川水温と近く、犀川の水が右岸の地下水として伏流していることを示す。三川合流部付近で $4\sim 5\text{m}^3/\text{s}$ が湧出している。

地下水水質と犀川水質の関係

右岸浅井戸地下水や明科わさび田湧水の安定同位体(^{18}O)やヘキサダイアグラムは犀川の値とほぼ等しい。左岸地下水は、犀川に加え、穂高川、湧水公園の湧水(北アルプス起源)との関係が認められる。

地下水の圧力

層別観測井戸では、下流部で50m井戸の圧力が10m井戸の圧力より高い。シルトの互層により深層の圧力が維持されている。深層の地下水はポテンシャルが大きいいため湧昇しようとし、表層砂礫層に帯水する犀川伏流水を上方へ押し上げようとする。

三川合流部の湧水メカニズム

明科わさび田付近の湧水は、犀川光橋付近で伏没した犀川由来の地下水が、下層からの圧力で押し上げられて、下からの地下水と混合して湧出している。このため、水質は犀川と類似性が高い。大王わさび田付近の湧水は犀川以外に穂高川、北アルプス起源の湧水を受けつつ、やはり下層からの圧力で押し上げられて、下からの地下水と混合して湧出している。

三川合流部の湧水環境の保全のために配慮しなければならない事項

下層の圧力保持・・・松本盆地や三川合流部の地下水涵養条件の維持	圧力変化による涵養条件変化のリスク。
浅層地下水位の持続・・・犀川伏流水(右岸)や穂高川等伏流水(左岸)の持続	浅層帯水層を維持する上でのリスク。
犀川現況河床の維持・・・河川水位とわさび田水位の関係の維持	河床低下・上昇や河積阻害など、河床変動によるリスク。

46

F-1. 地下水シミュレーションによる現象確認(1)

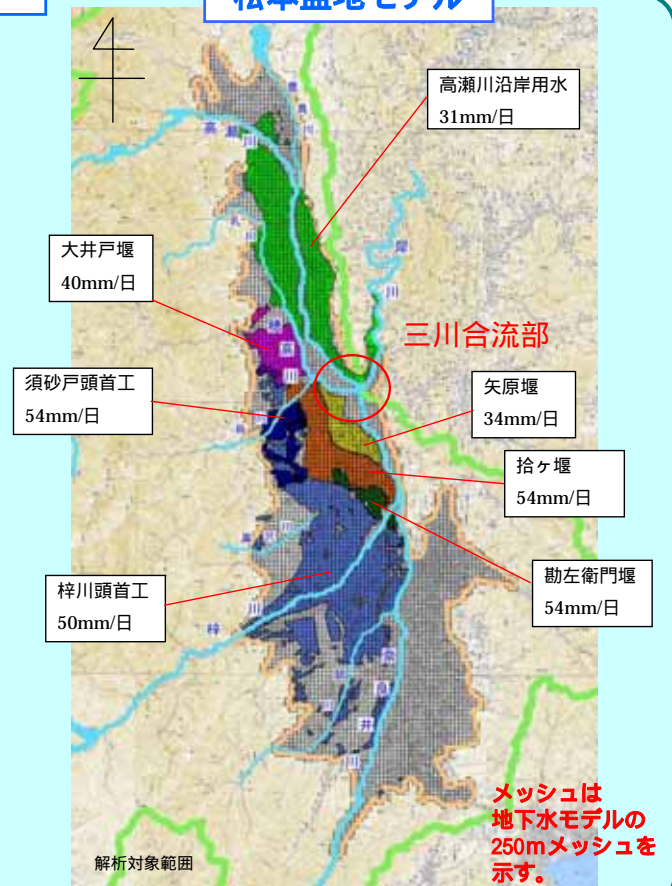
松本盆地モデル

(目的)

松本盆地の3次元地下水モデルを構築し、現況揚水量が増大した場合、土地利用が変化した場合の地下水への影響を予測。また三川合流部は詳細なモデルを用いてメカニズムを検証。

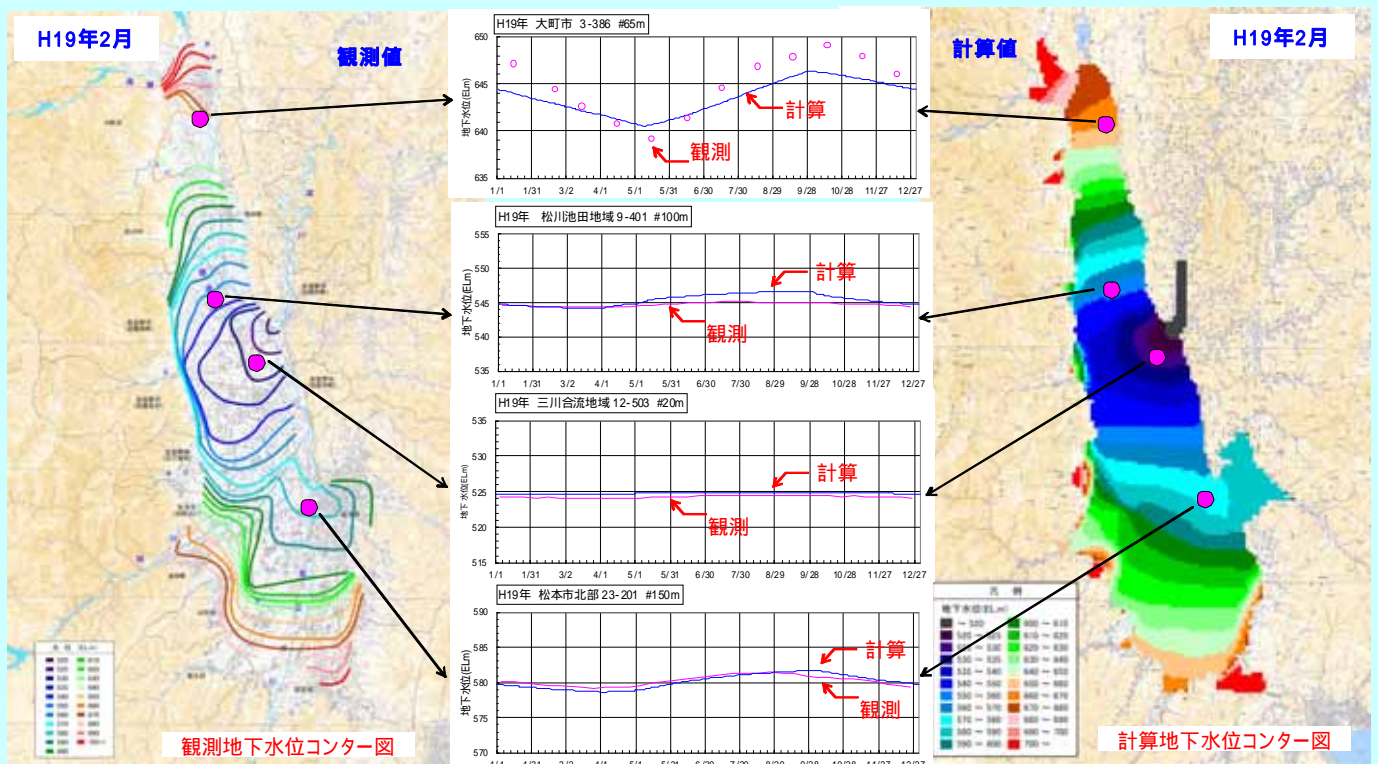
(モデルの構成)

水平方向のメッシュ分割	250m × 250m
鉛直方向層分割	当面7層で作成
使用モデル	三川合流部同様Mod flowモデルを流用
地質構成	既存資料、安曇野市電気探査結果を用い地層モデルを構築
計算対象期間	安定するまで20年間
減水深	水田浸透は各地域水利使用における減水深の現地調査結果を適用(右図)
その他	土地利用、揚水量、河川浸透、湧出・伏没、降雨浸透、水田浸透を考慮 降雨浸透はタンクモデルを使用 水収支解析により山地域からの直接地下水涵養量を考慮



F-2. 松本盆地地下水モデルの再現性

長期観測井戸の地下水位の経日変化と計算地下水位を比較することにより、モデルの再現性を検証した。この結果、本モデルにより、松本盆地の地下水位の挙動をマクロに再現可能である。



F-3. 地下水シミュレーションモデルによる現象確認(2)

三川合流部詳細モデル

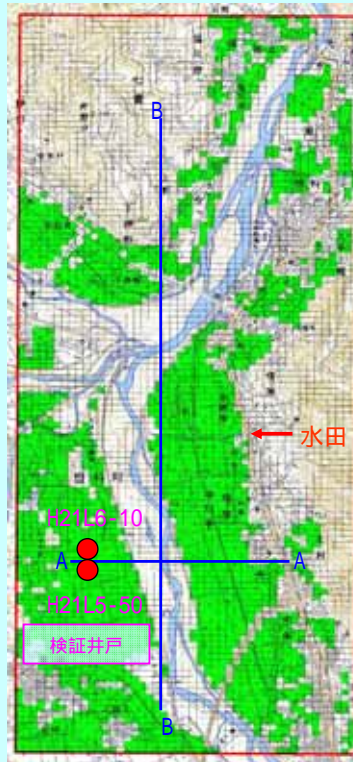
(目的)

三川合流部の3次元地下水モデルを構築し、犀川旧河道の中～下層のシルト互層の存在が、下層の地下水の圧力を高める現象をシミュレーションにより検証した。

(モデルの構成)

水平メッシュ分割	50m × 50m
鉛直層分割	10層(1層の厚さは15m～50m)
使用モデル	水平方向、鉛直方向にダルシー則を適用して非定常流動を計算(Modflowモデル)
地質構成	ボーリングデータを用いて地層構造を再現し、透水係数により透水条件を設定
計算期間	1年(H19.1～H19.12)
その他	土地利用、揚水、河川浸透、湧出・伏没、降雨浸透、水田浸透を考慮

平面メッシュと土地利用



透水係数設定例(表層)

: 段丘部	$5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
: 沖積層	$1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$
: 河道・旧河道	$2 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$
: 風化岩	$1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$
: 粘土混礫層	$1 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$



F-4. 地下水シミュレーションモデルによる現象確認(3)

実際の現象

- 三川合流部上流の左岸に新たに設置した深度50m井戸と深度10mの井戸では、深度50mの井戸の地下水位のほうが、約50cm高い。
- ボーリング調査によれば、この付近では水平方向に連続した不透水層は見られないが、粘土層が互層となるような地質構造が見られる。
- 粘土層互層の地質構造により、水平方向には地下水がよく流れるが、鉛直方向には流れにくい状態となる。
- このため50m付近の地下水は被圧状態となり、10m井戸より高い水頭となる。

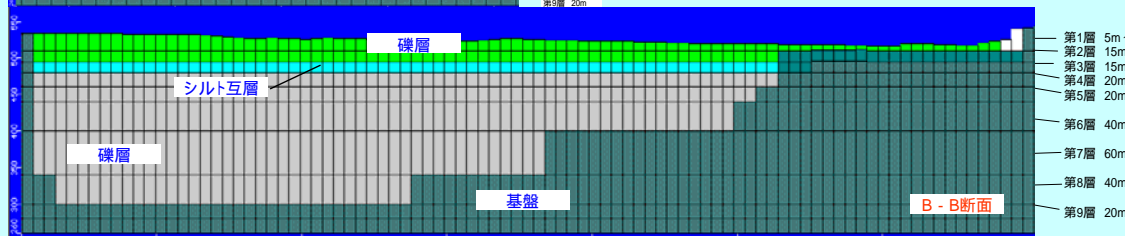
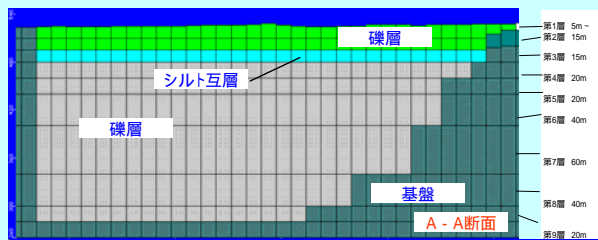
地下水シミュレーションの想定

- シルトの存在する20～35mの第3層の鉛直透水係数を大から小へ変化させ、水頭変化を調べた。
- 水平方向透水係数は同じとした。

層	水平方向 透水係数 Kx, Ky	鉛直方向透水 Kz		
		ケース1	ケース2	ケース3
第1層	0.1	0.1		
第2層		0.1		
第3層 シルト互層を設定	0.01	0.01	0.001	0.0001
第4層以下	0.1	0.05		

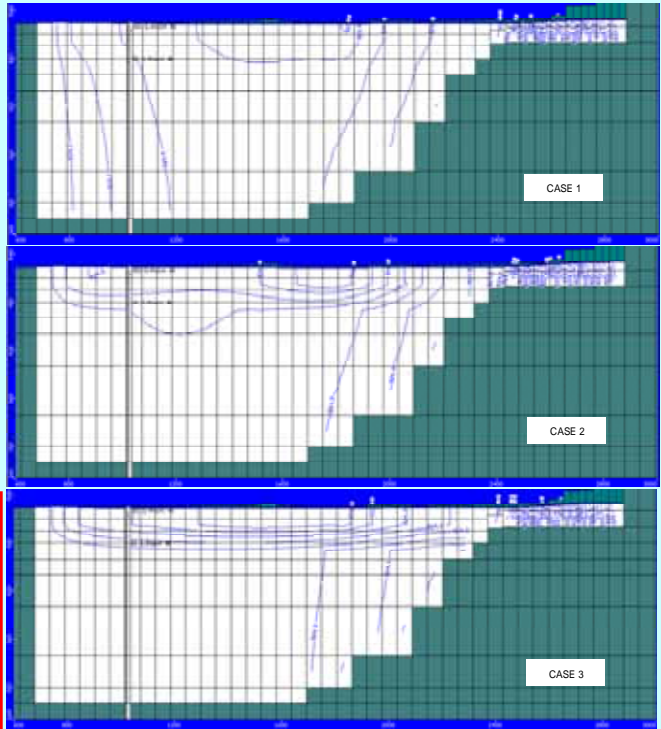
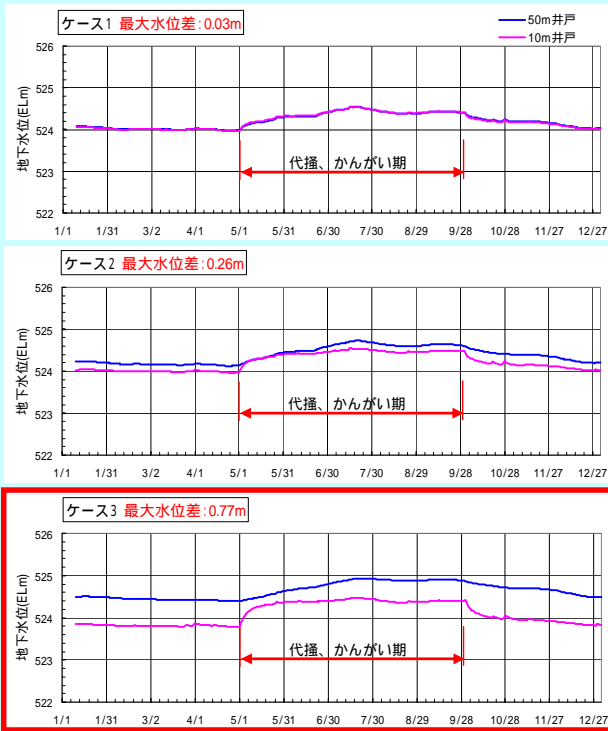
Kx : 東西方向透水係数 Ky : 南北方向透水係数

Kz : 鉛直方向透水係数 (cm/s)



F-5. 地下水シミュレーションモデルによる現象確認(4)

・シルト層が存在する20~35m層の鉛直方向透水系数を小さくすると、表層地下水と深層地下水の水頭の違いを再現(ケース3の通り)することができる。複雑なシルト層の存在が湧出現象に関わっている。三川合流部は犀川が造った特別な場所である。

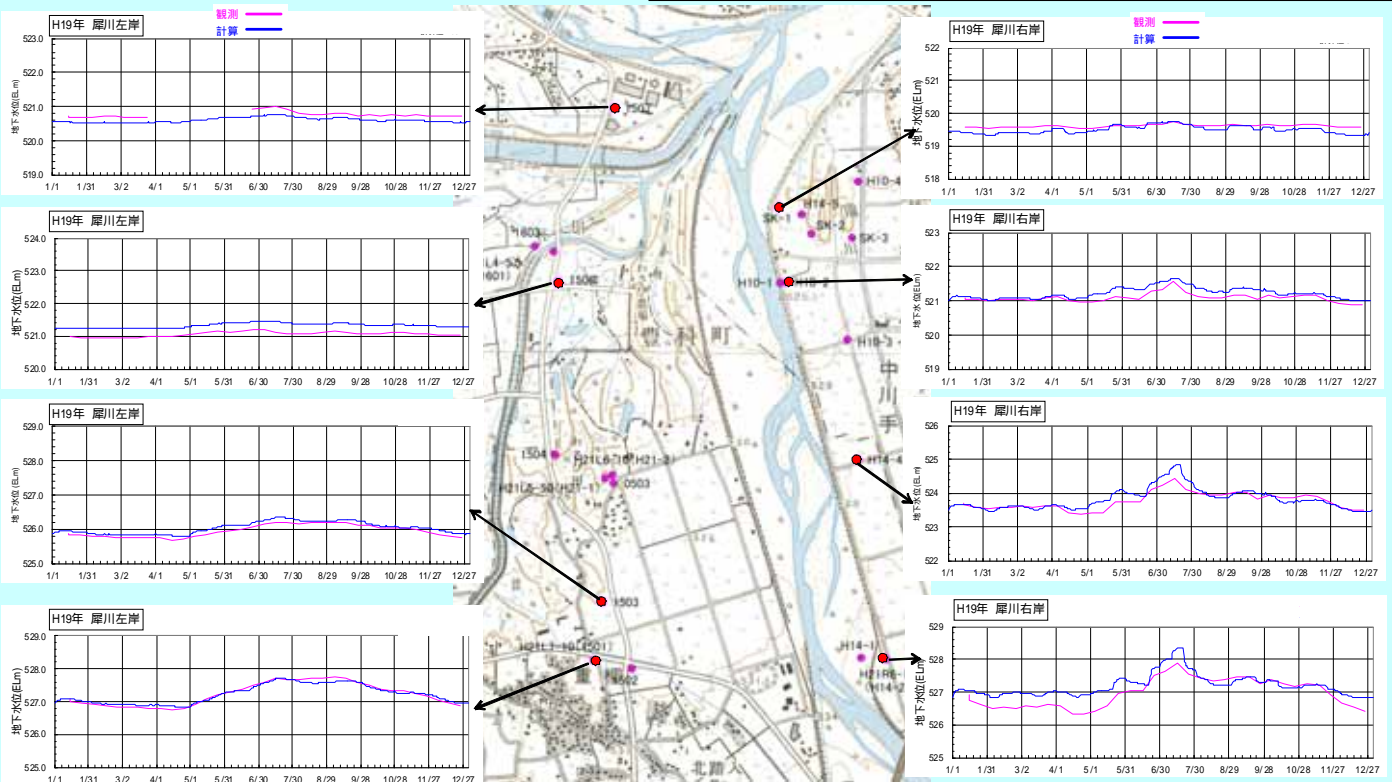


シミュレーションではケース3が41頁の水位差により近い値を示した

シミュレーションによる等ポテンシャル分布

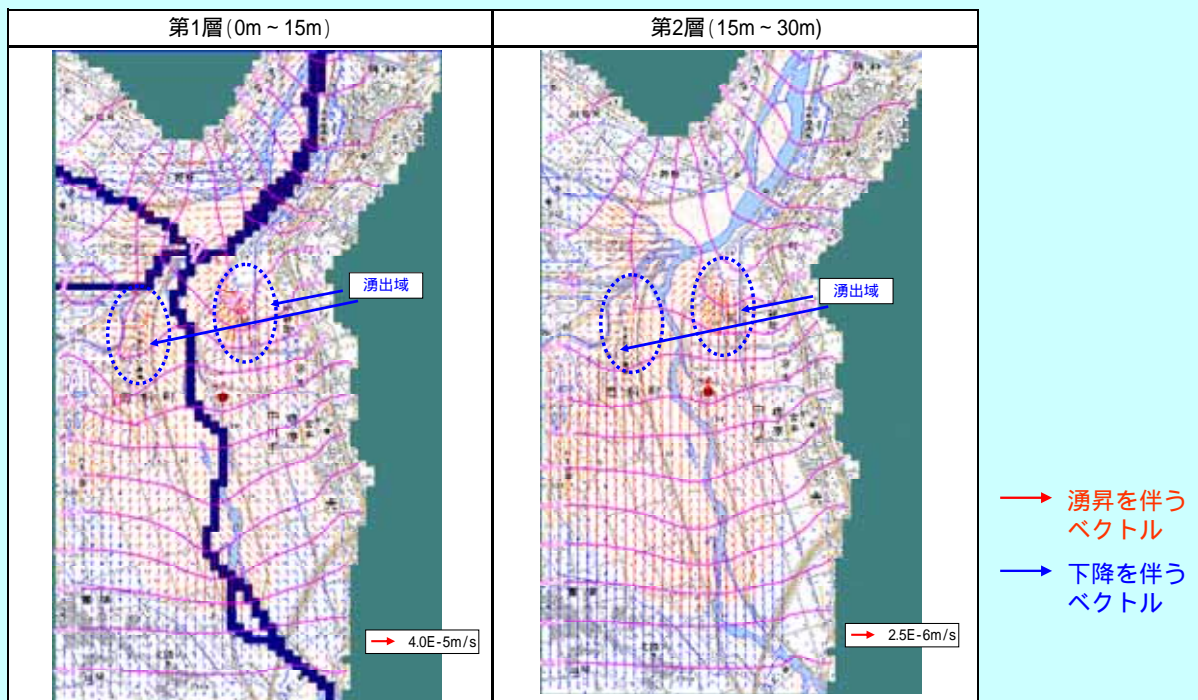
F-6. 三川合流部地下水モデルの再現性

長期観測井戸の地下水位の経日変化と計算地下水位を比較することにより、モデルの再現性を検証した。左右岸の観測井戸の実績水位を、計算結果はよく再現している。



F-7. 三川合流部の地下水流動

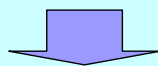
犀川旧河道跡のシルト互層の存在を鉛直方向透水係数を 0.0001cm/s まで下げて模擬的に地下水流動をシミュレーション計算すると表層や第二層でわさび田への湧出状態が再現される。



53

シミュレーションまとめ

- 1) 松本盆地地下水モデルと三川合流部詳細モデルを作成した。
- 2) 三川合流部モデルでは、実態に則した地下構造、犀川からの伏没現象を地下水流動モデルに取り込み、平成19年を対象として三川合流部左右岸の地下水位の年間変動を再現し、良好な結果を得た。
- 3) 特に、三川合流部付近の左右岸に分布するシルト互層構造が再現結果に大きく影響する。シルト互層で次のことをモデル化することにより、地下水現象の再現性の向上が見られた。
互層構造であるので、水平方向の透水係数は大きい。
同じく、鉛直方向の透水係数は小さい。
- 4) 上記により、犀川左右岸に伏流水が流下する現象が再現され、により、下層の水圧が表層より大きくなる現象が再現された。
- 5) この結果、主として犀川伏流水が地盤の低い下流部の明科わさび田、大王わさび田に湧出する現象が再現された。



実現象の再現できるシミュレーションモデルにより、将来予測が可能となった

54