

2018 年 4 月 17 日

スタジアム建設について
～地下水のモニタリング調査について～

京都スタジアム建設工事に伴う地下水水質への影響を把握するため、ボーリング 6 孔において連続的なモニタリング調査を実施しているが、観測孔により水質変動等が異なることから、モニタリング結果分析を踏まえた管理基準値の設定及びモニタリング状況を報告する。

1. モニタリング調査

1.1 目的

地下水については、詳細解析の結果、地下水の流向からスタジアムの基礎杭施工時に桂川への影響が考えられるため、その変化が把握できるようモニタリング調査を行う。
スタジアムに近い図 2 に示す観測孔 3 箇所(BV1-1,BV1-2,BV1-3)のいずれかで、工事中に工事前と大きく異なる数値の変化が観測されるなど、予期せぬ調査結果が出た場合には、工事を一時中断するとともに、環境保全専門家会議に報告し、スタジアムから遠い観測孔 3 箇所(BV2-1,BV2-2,BV2-3)のモニタリング調査の結果を確認のうえ、指導・助言を踏まえ、対策を検討し実施することを目的とする【平成 29 年度公共事業評価調書 p.53】。

1.2 調査

水質モニタリングは、杭施工に伴う濁り等を把握するため、水温、PH、濁度、電気伝導度、酸化還元電位、溶存酸素について行う。
水質モニタリングは平成 29 年 12 月 8 日から開始し、杭工事は平成 30 年 2 月 27 日から行っている。

1.3 地下水の到達時間予測

平成 29 年 12 月 26 日に観測孔 6 箇所において流速を計測したところ、BV1-2 孔が最大で流速 $V=9.86\text{m/day}$ であったため、この流速からスタジアムに近い観測孔 3 箇所から桂川等への地下水到達時間を予測した。

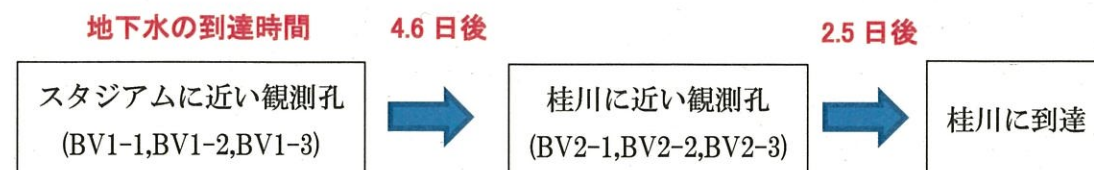
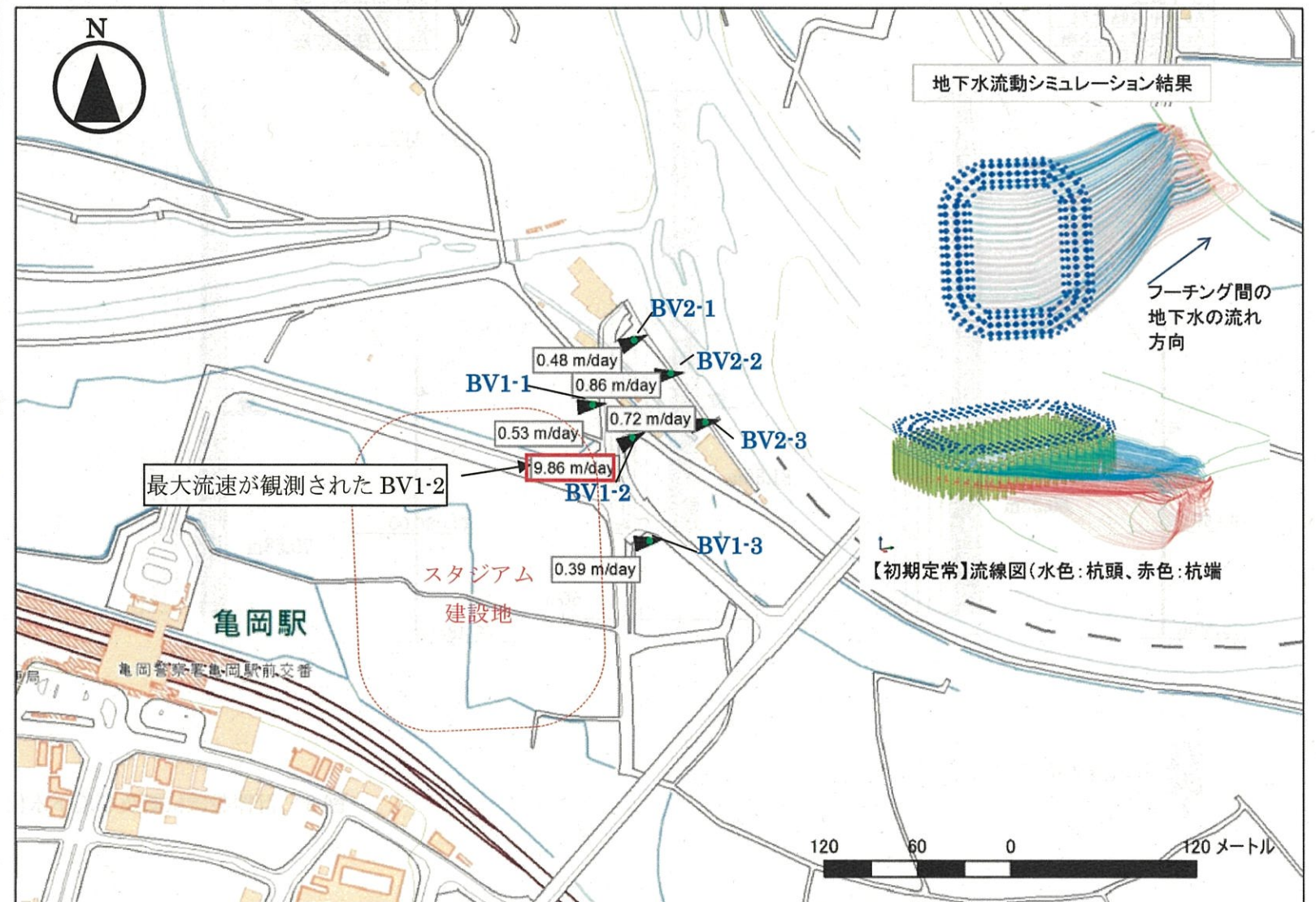


図 1 地下水の流到達予測



1.4 各観測孔と地質

各観測孔の計器の設置位置、地下水位（平成 30 年 1 月 8 日 AM3:00 測定、地質は図 3 のとおりである。なお、地下水位は全体的に低い状況であった。

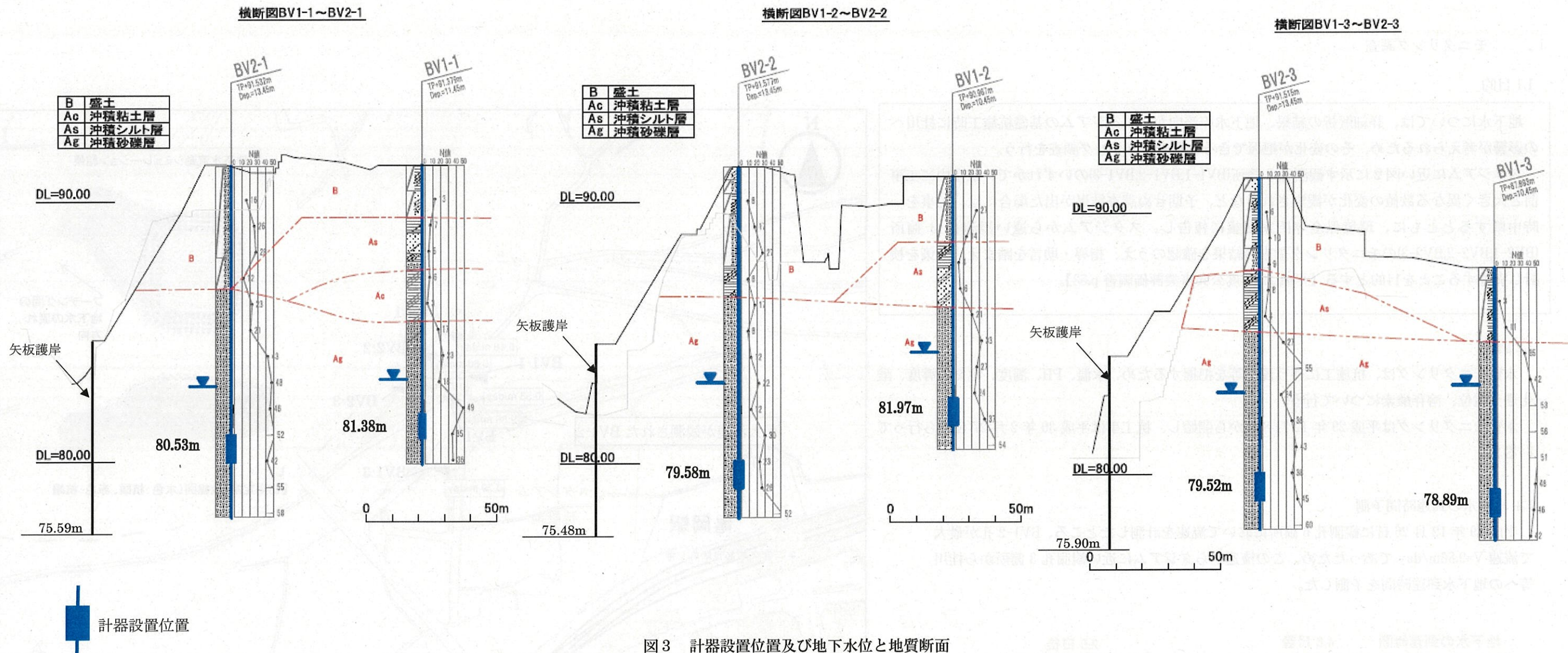


図 3 計器設置位置及び地下水位と地質断面

2. これまでのモニタリング結果の分析

モニタリングの中で水質変化が認められたため、その原因等の分析を行った。

2.1 地下水温の季節変動

水温については季節変動の影響の可能性が考えられたため、日変動の影響を排除して分かり易くするため、24時間の移動平均で整理した。

各観測孔の水温は、大きく次の2パターンに分けられる。

パターン1：平成30年2月中旬までほとんど変化がなく、2月中旬以降緩やかに下降する。

パターン2：平成30年2月中旬～下旬まで継続的に低下し、これ以降は上下動の変位が大きい。

降雨時に河川水位が上昇した後、水温が上昇する傾向がみられる。

なお、BV1-3は2月中旬まではパターン1、2月中旬以降はパターン2のタイプであった。

考察

- BV1-1, BV1-2, BV2-2 は水温がほとんど変化しないことから、気温の影響をほとんど受けない地下水の影響が大きいと思われる。
- BV2-1, BV2-3 は河川に近く、河川水温の影響を受けやすく、また、河川水位の上昇に伴い地下水位と差が生じ、周辺や深層から水温の高い地下水が流れ込み水温が上昇したものと考えられる。
- BV1-3 は両方の地下水の影響を受けている可能性がある。

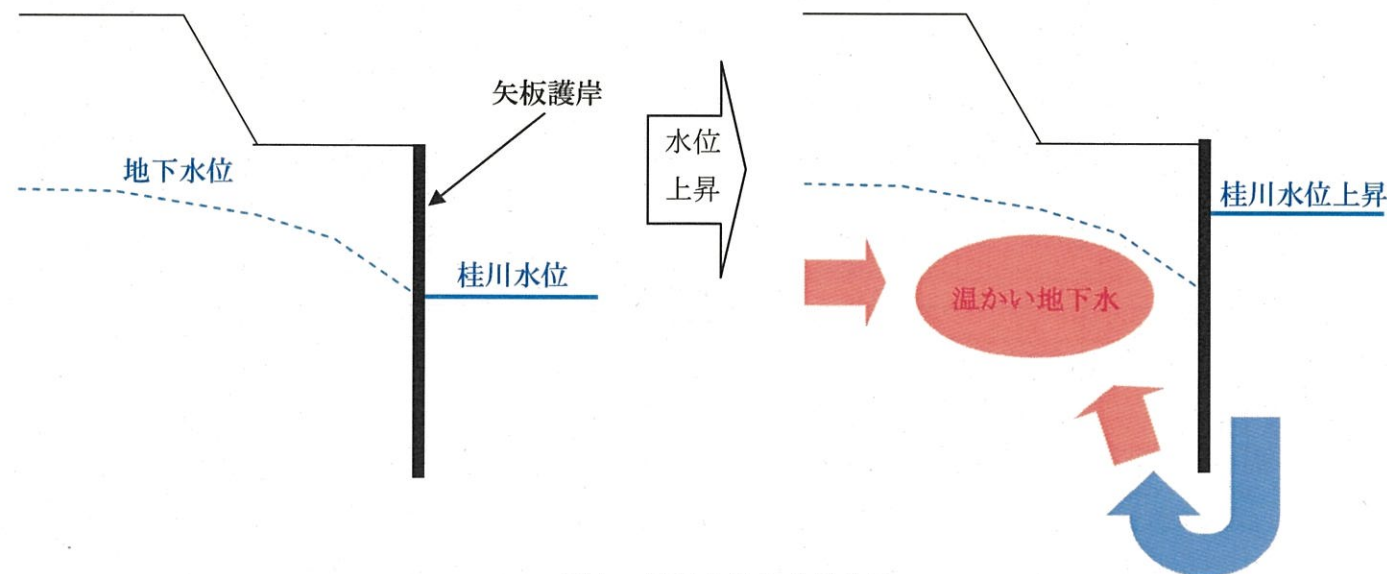


図4 河川水位と水温上昇

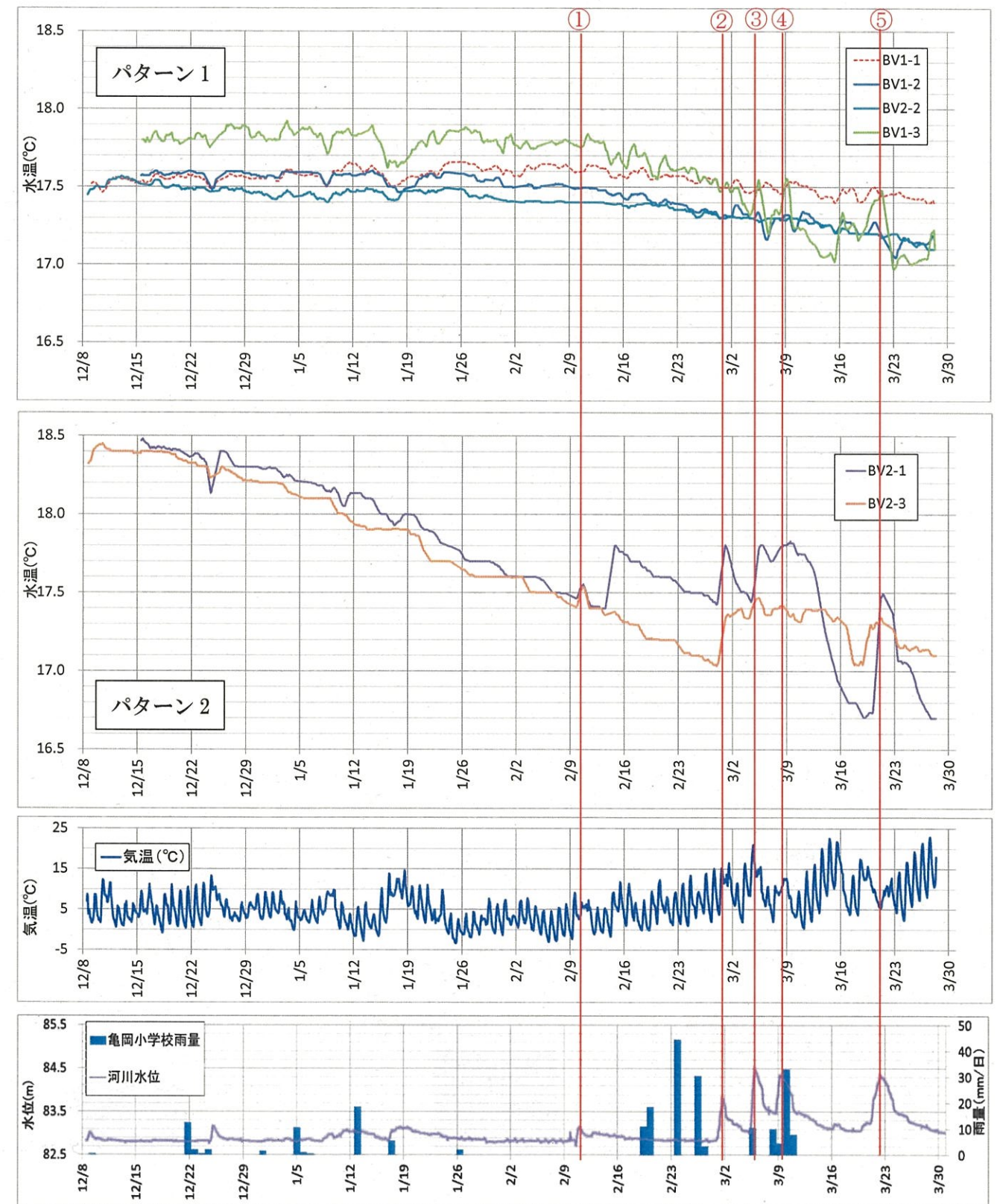


図5 各孔の24時間移動平均水温

2.2 地下水温の日変動

BV1-3 などでは水温が日変動を示しており、気温等の影響が想定される。水温と気温の関係について確認した。

水温と気温の関係は次のとおり整理される。

- ① 雨が多い日は夜間の水温が上昇しない。(図5)。
- ② BV1-3 は明瞭な日変動がみられ、BV1-1, BV1-2 は若干の日変動がみられる(図6)。
- ③ BV1-3 は14時ごろに最低を示し、早朝に最高を示す。気温とは逆の変動をしている(図6)。

考察

- ・ BV1-3 のアスファルトに設置され周囲もコンクリート、BV1-1 と BV1-2 は砂利地に設置、その他は芝地に設置されているため、日照による周辺気温の上昇が影響を及ぼしていると思われる。
- ・ 以上のことから、BV1-3 はその他の孔より気温の影響を受けやすいと思われる。

◆BV2-1, BV2-3, BV1-3 は、河川水温、河川水位の影響を受ける。

◆BV1-3 は、日照による気温の影響を受ける。

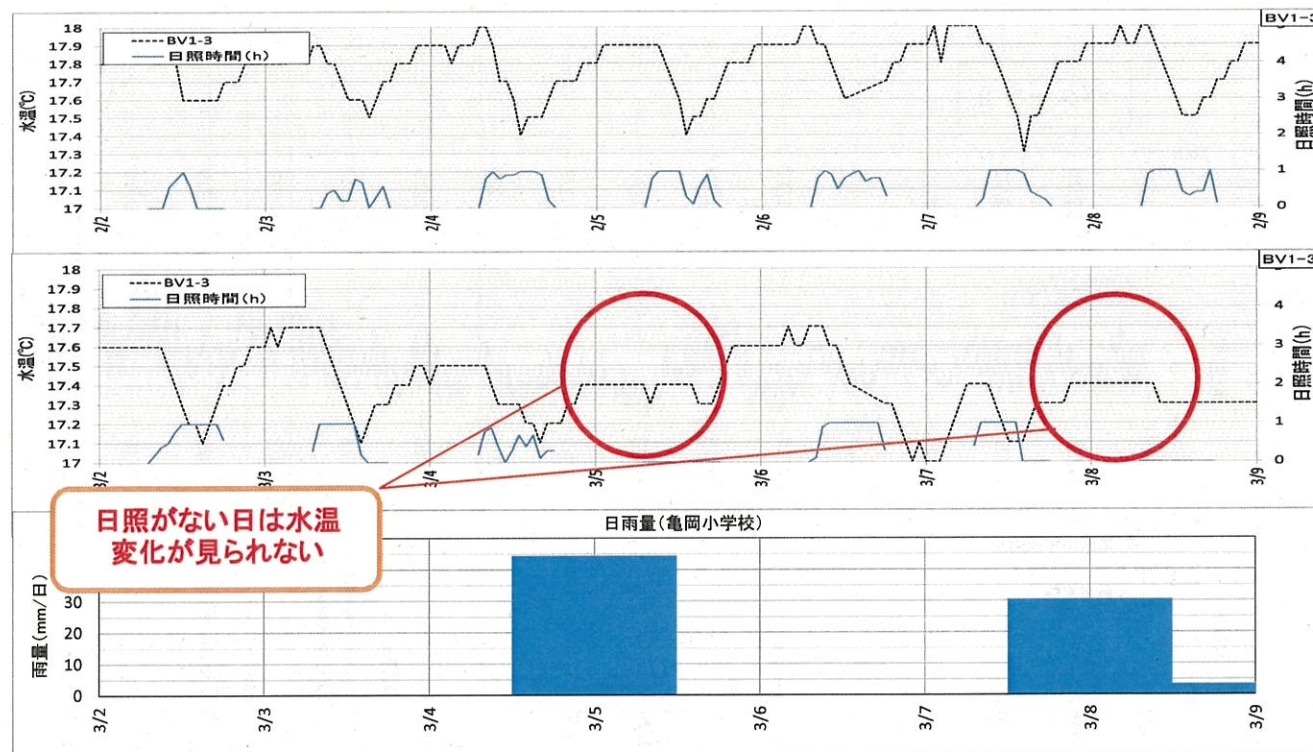


図6 日照時間と水温の関係

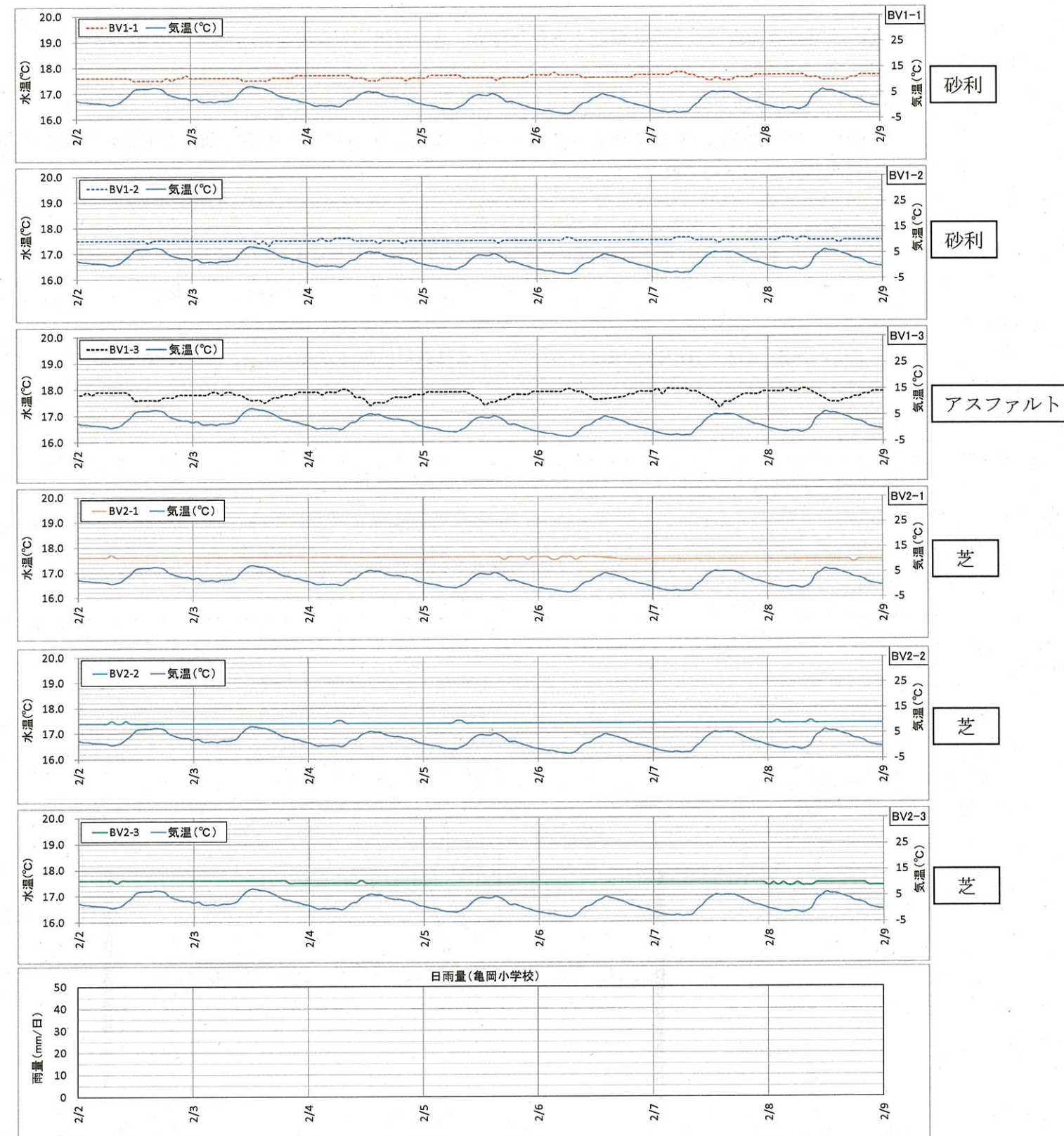


図7 各孔の水温と気温の関係 (2月2日~2月9日雨が降らない期間)

2.3 連動性の検討（雨や水位）

同一孔で複数の水質を計測しており、特に、BV1-3やBV2-1では連動性が認められた。連動性の状況について整理した。特に、連動性が目立ったBV1-3から整理する。

(1) BV1-3（地下水温から河川水位の一定影響を受けやすい）

図8における各時点の状況は次のように整理される。

- ① 河川水位、地下水位が上昇したタイミングでORPが下降を開始した。
- ② 河川水位が地下水位を上回ったタイミングでORPの下降が止まり、ECが上昇を開始した。また、DOがほとんど0mg/lになった。
- ③ 河川水位が下降を開始し、地下水位より下回ったタイミングでECとORPが上昇を開始した。
- ④ 河川水位が大きく低下し、地下水位が低下を開始したタイミングでECが下降を開始し、ORPはほぼ元の値に戻り、DOが上昇した。

考察

- ・ 矢板護岸があるため、河川水位の上昇から少し遅れて地下水位が上昇する。
- ・ ①②間は、河川水位の上昇に伴い地下水位と差が生じ、地下水の流れが変わり、①周辺からORPの低い地下水が流入したものと考えられる。
- ・ ②③間は河川水位が地下水位を上回ったため、②水位差が更に大きくなり①とは異なるECが高くDOが低い（≒0）の地下水が流入したと考えられる。
- ・ ③④間は河川水位が急激に低下することから、逆に地下水位より河川水位が低くなり、水位上昇と同様に周辺からORPの高い地下水が流入したものと考えられる。
- ・ 動水勾配が回復後のDOの上昇は、この間の雨水浸透が継続し、遅れて地下水まで到達したことや②③の時に流入した河川水が遅れて到達したことが考えられる。
- ・ 以上のとおり、水質変化には河川水位の変動に伴う地下水流の変化や雨水浸透の影響、更には河川水の流入の可能性が考えられる。

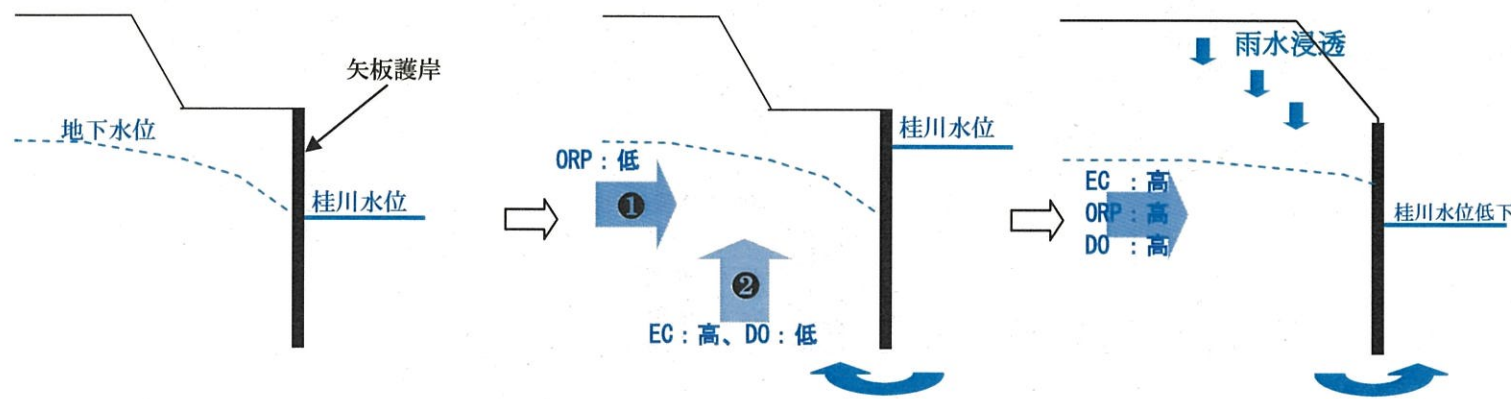


図8 水位上昇と水質の関係

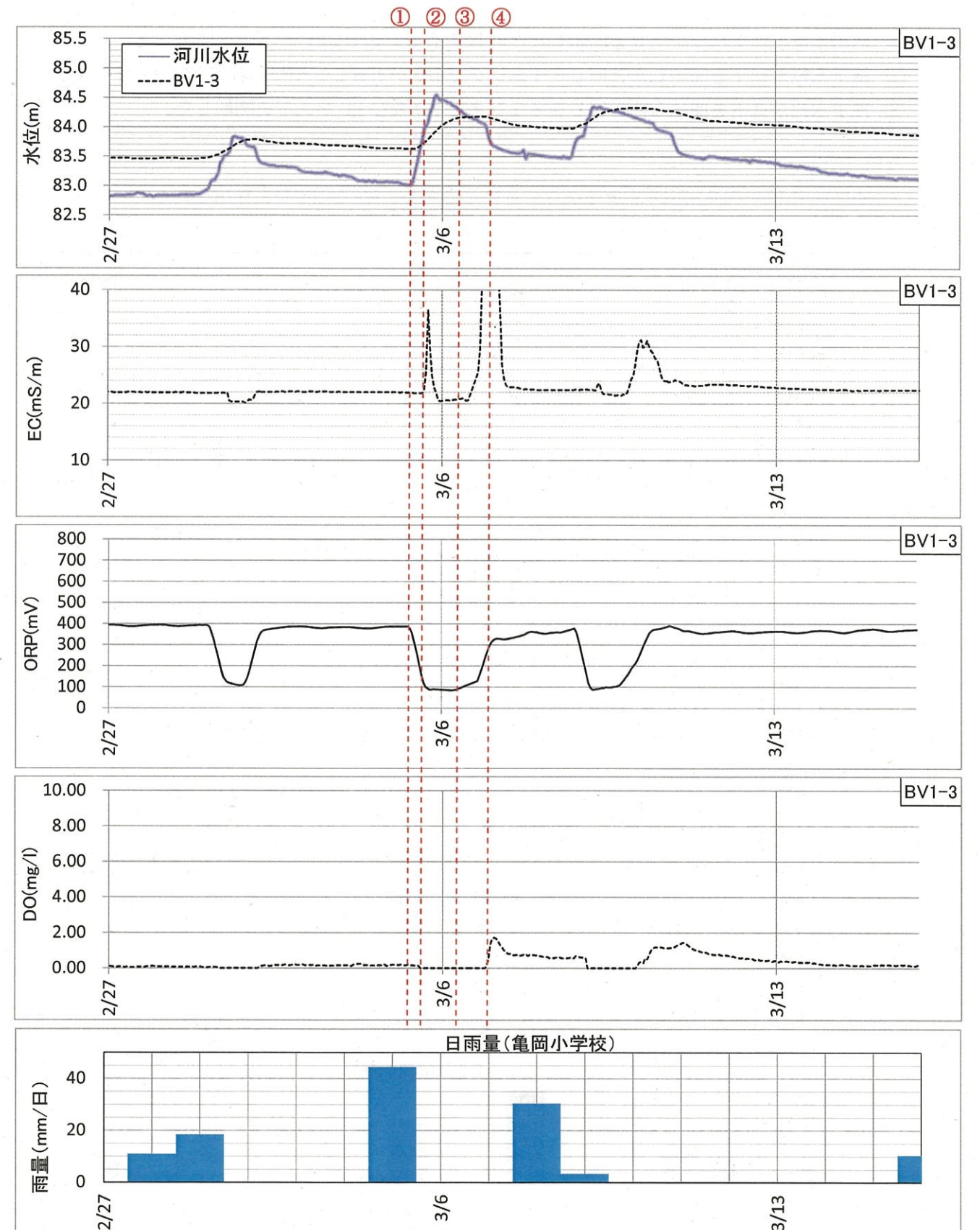


図9 降雨等との連動性整理 (BV1-3)

(2) BV1-2 (地下水温から河川水位の影響を受けにくい)

- ① 河川水位、地下水位が上昇を開始したと同じタイミングで ORP が下降を開始した。
- ② 地下水位が低下を開始したと同じタイミングで DO が上昇し、やや遅れて EC が上昇を開始した。
- ③ 地下水位が低下を開始したと同じタイミングで DO 及び EC が低下を開始した。

考察 (基本は BV1-3 と同様)

- ・ 河川から距離があり河川の影響を受けにくいことから、EC と DO の上昇が遅れるとともに、長時間なつたものと考えられる。

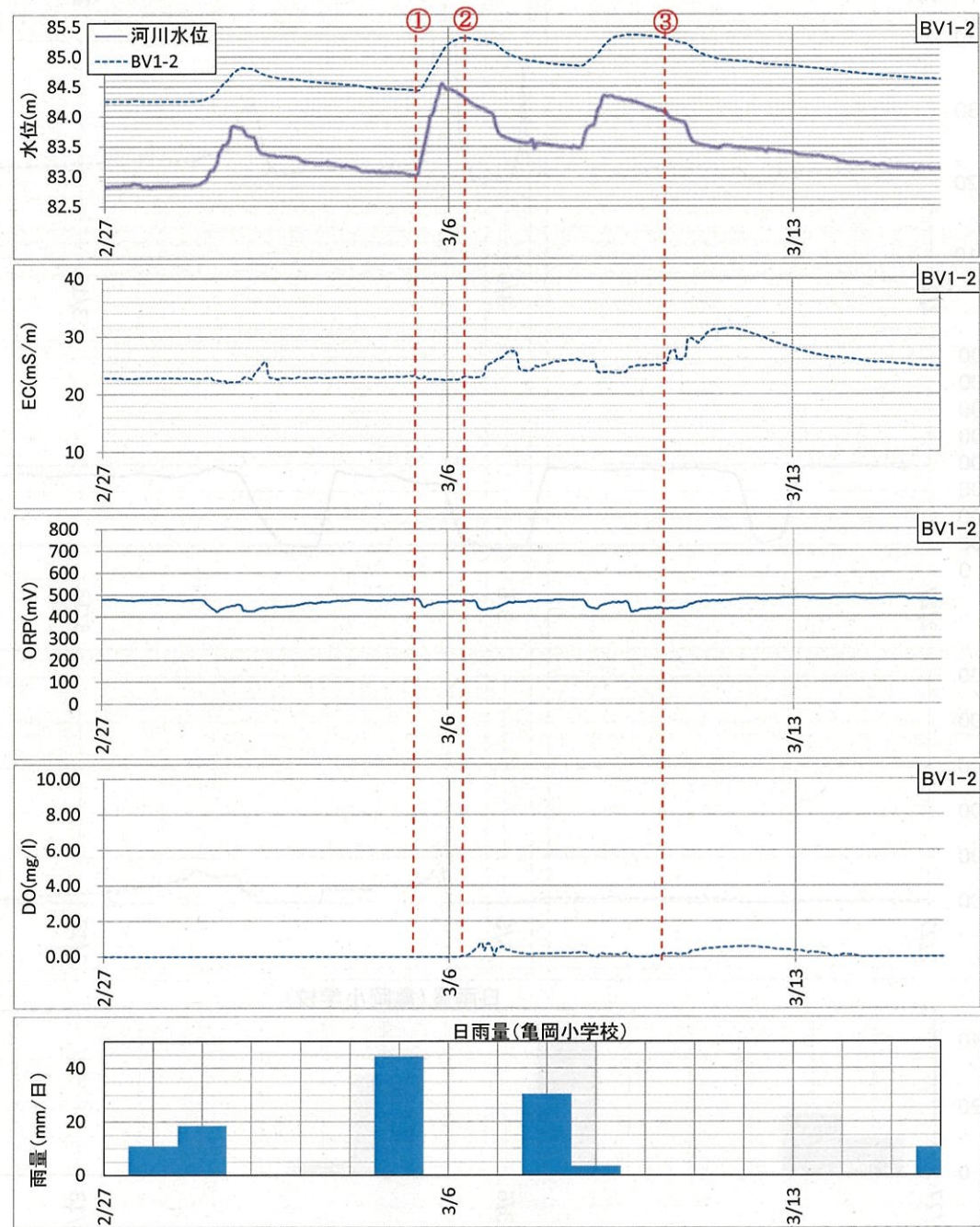


図 1 0 降雨等との連動性整理 (BV1-3)

(3) BV2-1 (地下水温から河川水位の影響を受けやすい)

- ① 河川水位、地下水位が上昇し、河川水位が地下水位を上回ったタイミングで EC, ORP, DO が下降
- ② 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP が回復し、DO が上昇した。

考察 (基本は BV1-3 と同様)

- ・ 旧河道であり、河川周辺地下水の EC は低いことから、河川水位の上昇により EC が低下
- ・ DO は値が高いことから、ORP、EC が回復した段階で河川水が流入した可能性が考えられる。

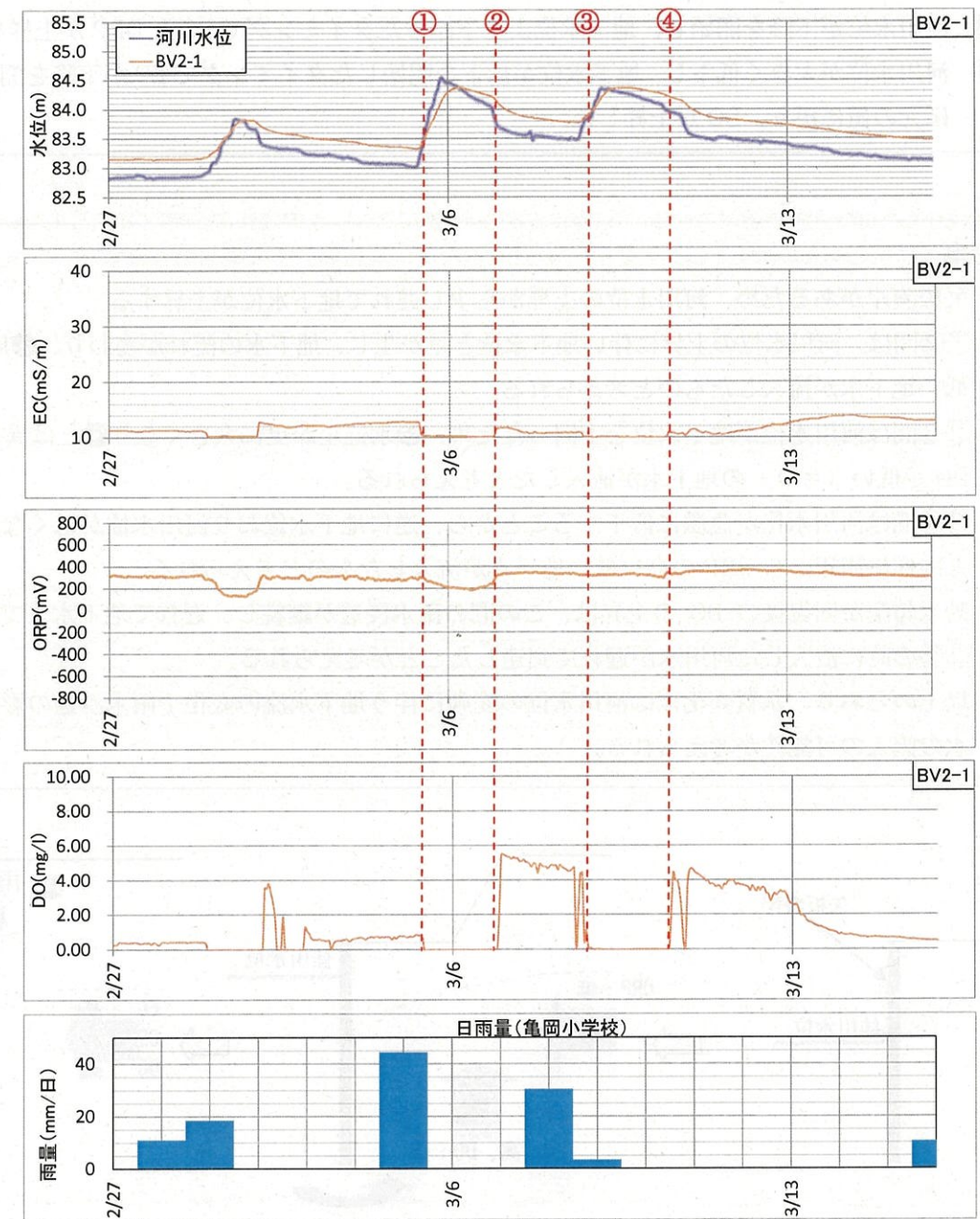


図 1 1 降雨等との連動性整理 (BV2-1)

(4) BV2-2 (地下水温から河川水位の影響を受けにくい)

- ① 河川水位、地下水水位が上昇を開始したと同じタイミングで EC が下降を開始した。EC が下降
- ② 河川水位と地下水水位がほぼ同じ高さになったタイミングで ORP が下降しはじめ、DO が上昇した。
- ③ 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP, DO の値が元に戻った。

考察 (基本は BV1-3 と同様)

・旧河道であり、BV2-1 と同様に河川水位の上昇により EC が低い地下水が流入したと考えられる。

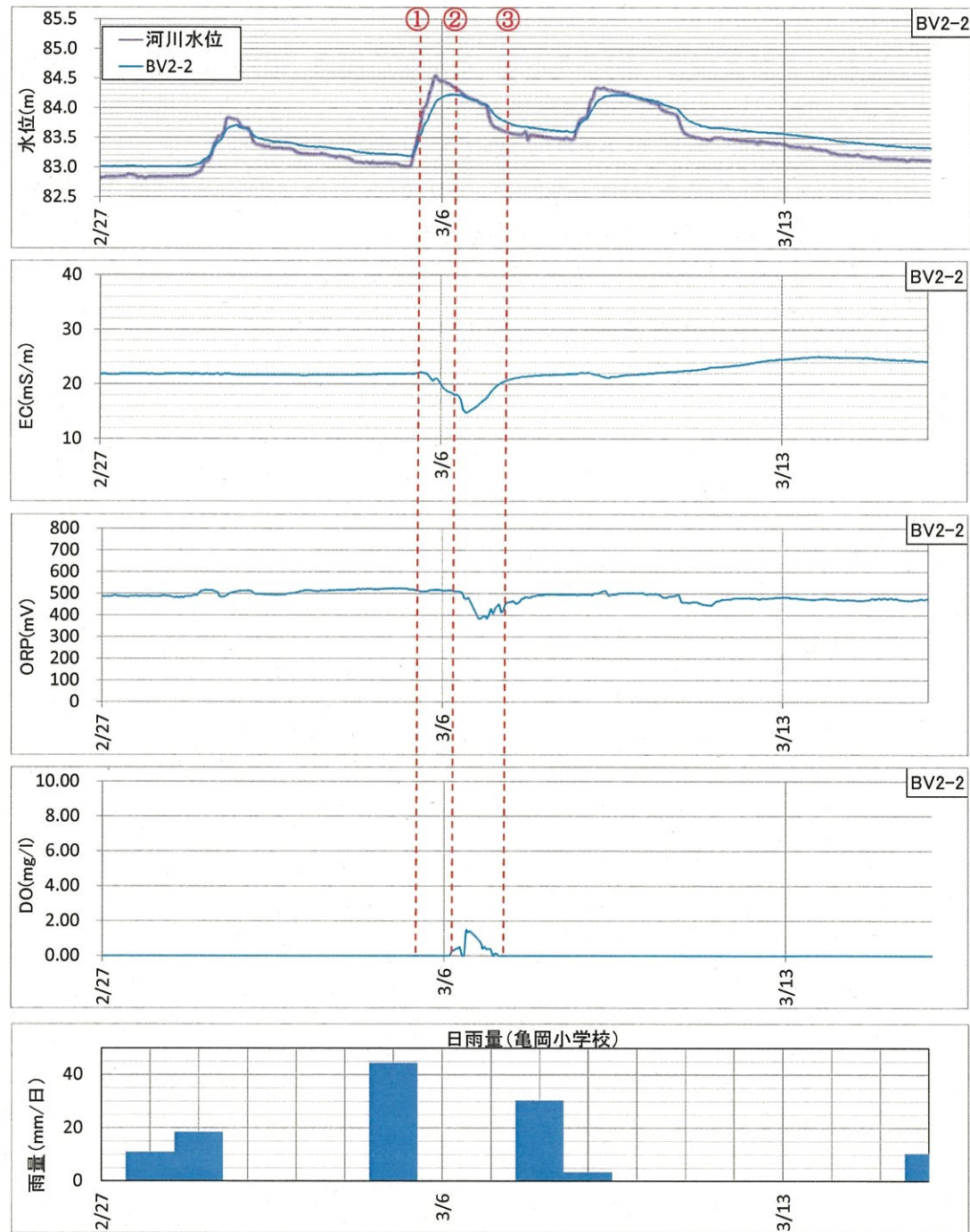


図 1 2 降雨等との連動性整理 (BV2-2)

(5) BV2-3 (地下水温から河川水位の影響を受けやすい)

- ① 河川水位、地下水水位が上昇を開始したと同じタイミングで ORP が下降を開始した。
- ② 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP, DO が上昇した。
- ④ ④以降一端回復した ORP が低下し回復しない。

考察 (基本は BV1-3 と同様)

・④以降の ORP 低下はセンサー異常のため、計器を清掃した。

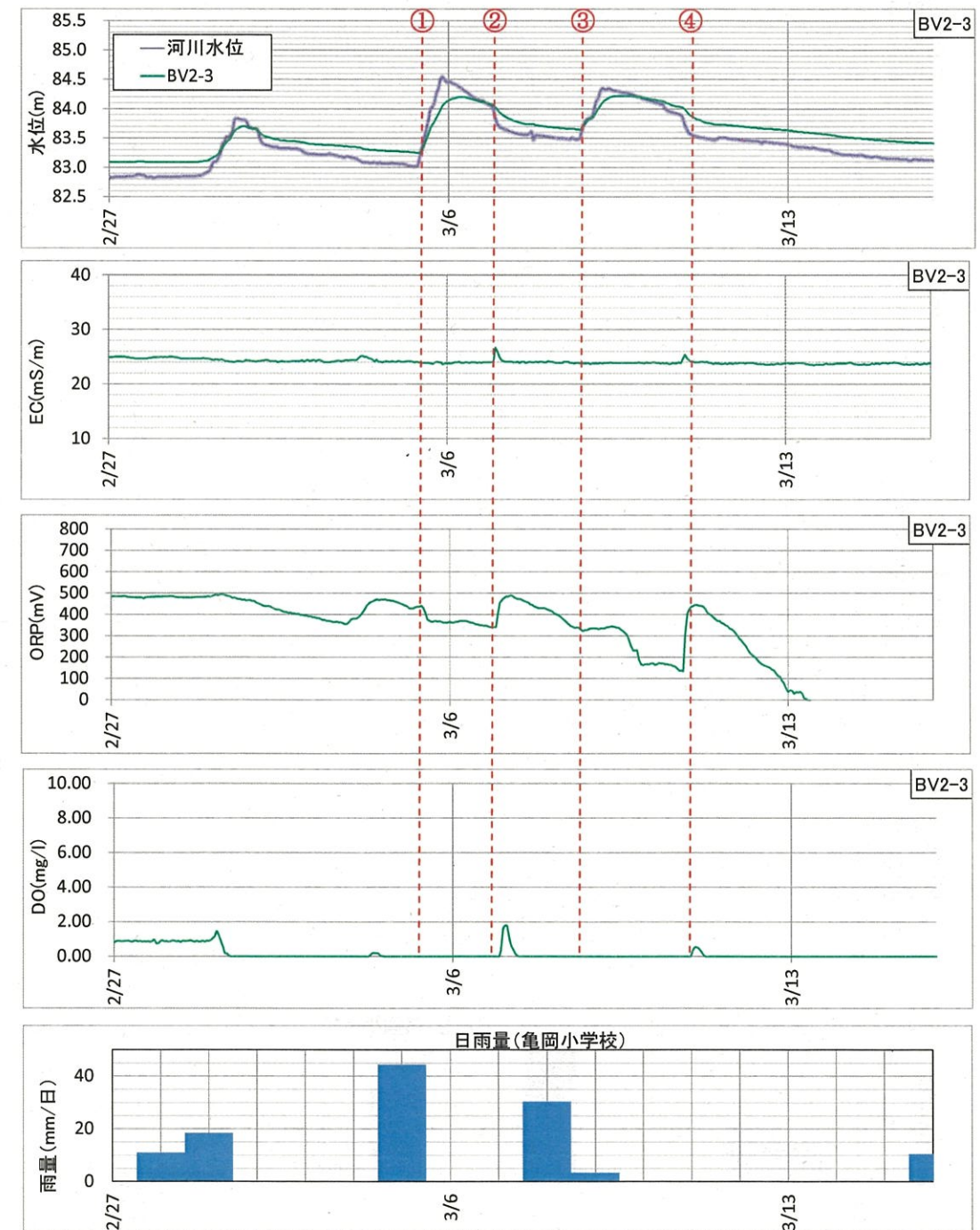


図 1 3 降雨等との連動性整理 (BV2-3)

(6) BV1-1 (地下水温から河川水位の影響を受けにくい)

BV1-1 については河川水位、地下水位の上昇下降に伴う水質変化がほとんど見られない。

考察

・季節変動、降雨や河川水位の影響をほとんど受けないと考えられる。

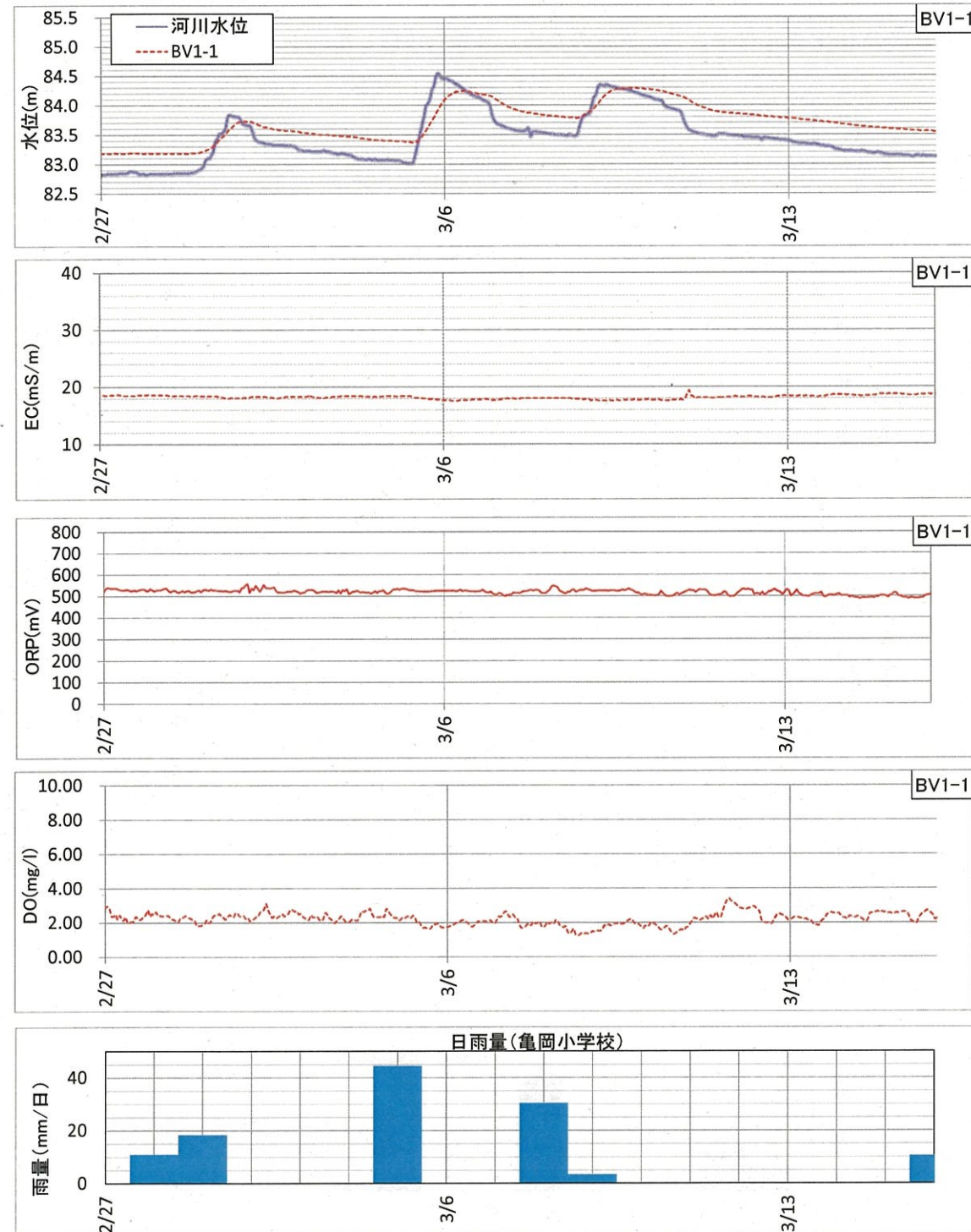


図1-4 降雨等との連動性整理 (BV1-1)

以上の水質分析より、次の事項が確認された。

- 1 BV1-3, BV2-1, BV2-3 は気温、河川水温、降雨、河川水位の影響を受けやすい。
- 2 BV1-1, BV1-2, BV2-2 は気温、河川水温、降雨、河川水位の影響を受けにくい。
特に、BV1-1 はこれまでの観測でほとんど変化が表れていない。
- 3 降雨による河川水位の上昇に伴う変化は、観測孔の場所や降雨・河川水位によって異なるが、概ね以下の傾向が認められる。
 - ①ORP は、水位が上昇しはじめると下がり、一定の値を保ち、水位が一定下がった段階で元に戻る。
 - ②EC は値が下がる場合 (BV2-1, 2-2) と上がる場合 (BV1-2, 1-3, 2-2) がある。
 - ・下がる場合は、ORP 同様な変化をする。
 - ・上がる場合は、水位が下がり始めてから変化が現れる。
 - ③DO は値が下がる場合 (BV1-3, 2-1) と上がる場合 (BV1-2, 1-3, 2-12-2, 2-3) がある。
 - ・下がる場合は、ORP と同様な変化をする。
 - ・上がる場合は、水位が下がってから変化が現れる。
- 4 降雨・河川水位が影響を及ぼす期間は、観測孔や水質によって異なり、最大1週間程度影響が及ぶ場合がある。

3. 管理方法

モニタリングによる管理方法は次のとおりとする。

3.1 モニタリング管理に当たって注意事項

これまでのモニタリング結果の分析を踏まえて、以下の事項に注意する。

- 地下水質は、降雨による河川水位の上昇に伴い変動するとともに、観測孔や水質によって異なるので、一律に見なすことができない。
- 降雨や河川水位の影響は、降雨後、1週間程度に及ぶことから、変動があっても警戒段階とせず、地下水位・河川水位と水質の関係を確認する。
- 今後も季節変化などが考えられることから、基準値を1ヶ月毎に見直す。

3.2 管理の基本方針

- ① 連続観測システムに基準値を設け、基準値を超える値を検出した場合、【注意喚起メール】を自動送信することにより、通常と異なる状況を早期把握する。
- ② 計器異常、降雨や河川水位の変動など工事以外の原因により基準値を超える値を検出する可能性があるため、この時点で【注意段階】とし連続観測システムで各データの「計器異常の有無」や「降雨や河川水位の変動等による影響」を確認する。
⇒計器異常の有無は、【注意喚起メール】到着後1日以内(夜間の場合翌日)に確認を行う
降雨や河川水位の変動等は、降雨や河川水位の変動がおさまるまで状況を確認する
- ③ ②で計器が正常で降雨等がおさまっても、基準値を超え「連続性や増大傾向」がみられたり、「近隣他孔の拡散」がみられた場合、【警戒段階】とし、「工事中断」「WGへの報告」を行う。
⇒データの継続性を確認するため、【注意喚起メール】到着後3日以内に確認を行う

3.3 対応の流れ

基準値を超える値を観測した場合の対応の流れは次のとおりである。

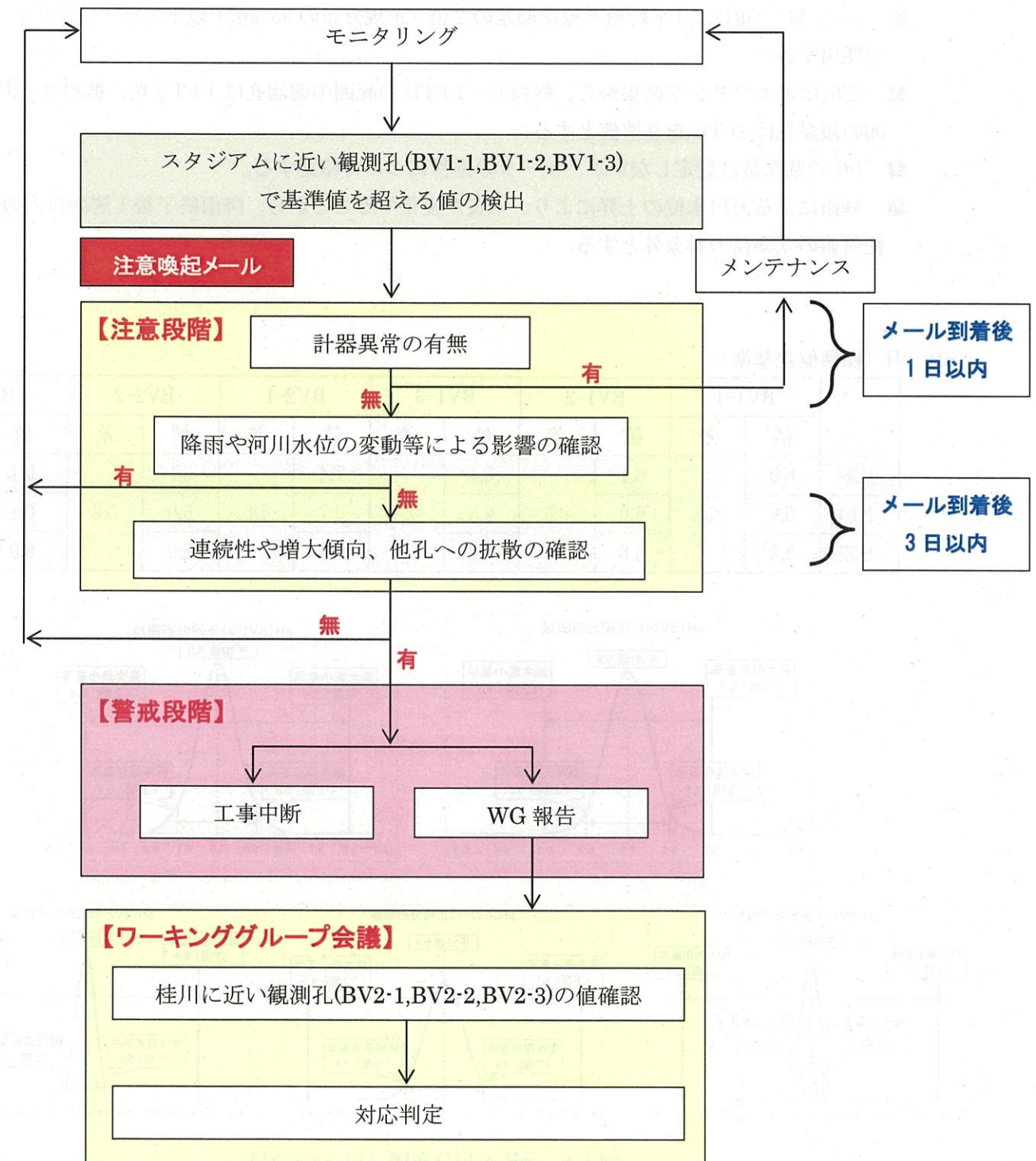


図15 異常値が発生した場合の対応フロー(案)

4. 基準値設定について

モニタリングに当っては注意喚起基準を設定する。

<注意喚起基準>

- pH、EC、ORP は「平均値±標準偏差の2倍（正規分布の95%値）以下【標準偏差基準】という」を採用する。
- 濁度はモニタリング結果から、概ね0~1FTUの範囲の観測孔は1FTUを、概ね0~2FTUの範囲の観測孔は2FTUを基準値とする。
- DOの基準値は設定しないが、データの推移について確認する。
- 降雨による河川水位の上昇により、水質が変化することから、降雨終了後1週間以内のデータを絶対値の基準値の対象外とする。

(1) pH（標準偏差基準）

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	6.0		6.1		6.4		7.4		6.1		6.1	
平均	5.9	0.2	6.0	0.3	6.3	0.2	6.7	1.5	6.0	0.2	6.1	0.1
下限	5.8		5.8		6.2		5.9		5.9		6.0	

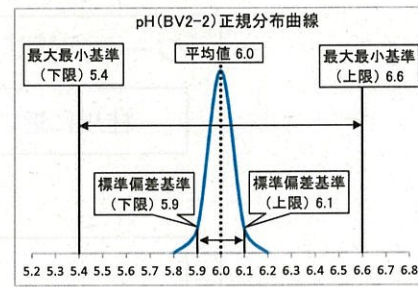
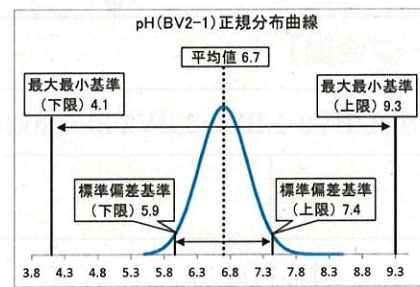
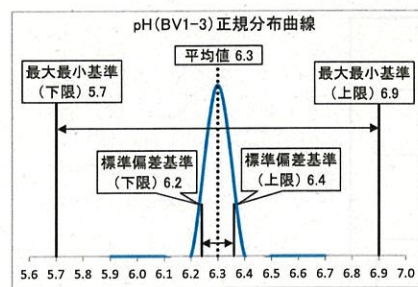
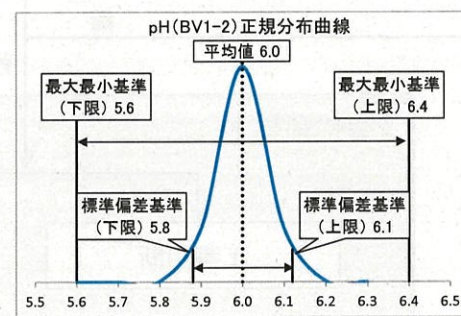
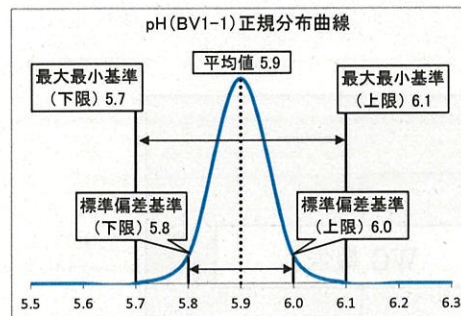


図16 pH正規分布図(12/8~3/31)

(2) EC（標準偏差基準）

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	18.8		23.7		23.3		23.8		22.4		25.6	
平均	18.4	0.8	22.9	1.6	22.7	1.2	21.7	4.2	21.5	1.7	25.0	1.3
下限	18.0		22.1		22.1		19.6		20.7		24.3	

(3) ORP（標準偏差基準）

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	606.0		477.7		479.2		369.0		534.7		542.4	
平均	467.3	277.4	452.4	50.5	285.2	388.0	253.4	231.1	497.1	75.2	447.2	190.5
下限	328.6		427.2		91.2		137.9		459.5		351.9	

(4) 濁度（1または2FTUで設定）

濁度は各孔で傾向が異なるが、連続的に基準値を超えた場合に杭施工に伴う濁りの影響が想定される。

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	1.0		2.0		2.0		1.0		1.0		1.0	
下限	0	1.0	0	2.0	0	2.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0

過去の地下水調査

試料名	採水日時	水温(°C)	pH	DO	EC		ORP	
					EC	平均値	ORP	平均値
駅北 No.1	H26.8.20	18.5	6.8	4.13	22.1	20	45	65
	H27.1.29	15.5	6.9	6.83	22.0		15	
	H28.12.20	15.8	6.7	5.00	17.3		135	
駅北 No.2	H26.8.20	21.3	6.7	4.17	25.0	25	-26	-44
	H27.1.29	17.0	6.8	7.79	27.1		-31	
	H28.12.20	18.5	6.7	4.02	24.2		-76	
駅北 No.2'	H26.8.20	23.9	6.8	2.88	22.7	23	164	180
	H27.1.29	16.2	7.0	7.78	24.7		143	
	H28.12.20	18.7	6.7	4.46	20.9		234	
駅北 No.3	H27.1.29	18.5	7.1	6.62	40.4	36	41	50
	H28.12.20	18.8	6.8	0.59	30.8		58	
駅北 No.4	H26.8.20	19.4	6.8	3.98	24.7	27	185	177
	H27.1.29	17.8	6.9	8.35	32.5		194	
	H28.12.20	19.2	6.8	2.37	25.1		151	
駅北 府No.1	H28.12.20	17.6	6.4	4.82	18.6	18	336	276
	H29.4.25	18.3	7.2	4.90	17.3		215	
駅北 府No.2	H28.12.20	21.3	6.3	1.81	23.2	26	95	89
	H29.4.25	17.8	7.1	2.82	28.3		82	
駅北 府No.3	H28.12.20	19.6	6.6	1.01	22.6	27	11	57
	H29.4.25	19.0	7.0	1.44	30.5		103	
駅北 府No.4	H28.12.20	17.8	6.3	1.68	24.7	23	204	204
	H29.4.25	16.9	6.6	2.72	21.0		203	
公園 No.3	H25.8.20	17.2	6.5	0.19	16.0	19	15	72
	H26.1.29	14.8	6.6	1.89	19.2		65	
	H26.8.20	18.1	6.6	4.12	22.6		88	
	H27.1.29	14.5	6.8	7.14	19.2		119	
公園 No.6	H25.8.20	19.7	6.5	0.06	15.4	17	150	196
	H26.1.29	15.5	6.6	0.68	17.6		226	
	H26.8.20	16.4	6.6	1.84	17.2		220	
	H27.1.29	15.2	6.7	8.55	17.0		186	
公園 No.8	H25.8.20	20.9	7.1	0.18	23.6	21	-97	91
	H26.1.29	16.7	6.7	0.40	20.6		100	
	H26.8.20	19.1	6.7	3.79	20.3		110	
	H27.1.29	15.9	6.8	6.47	21.8		117	
	H28.1.29	16.6	6.6	5.73	16.3		225	
公園 No.9	H25.8.20	28.7	6.8	0.29	13.3	28	133	186
	H26.1.29	16.6	6.7	0.92	24.6		131	
	H26.8.20	26.8	6.9	2.84	27.2		217	
	H27.1.29	14.9	6.9	5.32	50.5		180	
	H28.1.29	16.0	6.8	4.56	21.9		271	
公園 No.10	H26.1.29	19.9	6.4	0.15	23.8	35	7	40
	H26.8.20	20.5	6.8	4.36	45.8		72	
	H27.1.29	16.2	6.8	7.14	35.4		40	
公園 No.11	H26.1.29	18.2	6.5	2.71	28.5	25	183	218
	H26.8.20	22.3	6.8	4.48	20.8		266	
	H27.1.29	17.3	6.7	7.17	26.0		206	
公園 No.99-1	H28.1.29	11.3	7.0	8.25	15.8	14	246	251
公園 No.99-2	H28.1.29	11.5	9.8	8.90	13.2		258	
公園 No.99-3	H28.1.29	17.0	7.1	7.65	12.7		248	
	平均	18.1	6.8	4.0	23.5		131.9	
	MIN	11.3	6.3	0.1	12.7		-97.0	
	MAX	28.7	9.8	8.9	50.5		336.0	

※ 赤書きは、ECの値が30以上、ORPの値が100以下

試料名	採水日時	水温(°C)	pH	DO	EC		ORP	
					EC	平均値	ORP	平均値
桂川	H25.8.20	29.7	7.5	9.43	9.7	9	141	186
	H26.8.20	22.3	7.1	5.92	4.8		157	
	H26.1.29	6.1	7.1	10.42	9.9		203	
	H27.1.29	6.7	7.2	11.08	8.1		211	
	H28.1.29	7.1	7.2	10.23	11.6		220	
曾我谷川上流	H27.1.29	7.5	8.0	9.57	15.6	17	89	188
	H25.10.31	16.7	7.9	8.91	14.0		192	
	H26.8.20	28.2	8.8	5.34	15.8		203	
	H25.8.20	28.1	7.2	6.18	19.2		219	
	H26.1.29	10.2	8.2	9.42	21.1		195	
曾我谷川下流	H27.1.29	7.2	8.0	9.66	15.7	15	136	193
	H26.8.20	27.1	7.5	5.03	15.0		185	
	H25.8.20	30.7	7.5	5.80	10.1		214	
	H28.1.29	7.1	7.2	10.38	15.3		214	
	H26.1.29	6.0	7.9	9.90	20.8		216	
赤川	H27.1.29	9.5	7.5	9.28	22.5	15	98	167
	H26.1.29	12.8	9.8	10.81	21.4		145	
	H25.8.20	30.5	7.3	6.65	10.0		148	
	H28.1.29	7.4	7.2	10.76	8.3		192	
	H26.8.20	28.5	7.1	5.02	13.2		252	
	平均	16.0	7.6	8.6	14.1		183.7	
	MIN	6.0	7.1	5.0	4.8		89.0	
	MAX	30.7	9.8	11.1	22.5		252.0	

※ 赤書きは、ECの値が10以下、ORPの値が100以下

<地下水と河川水の比較結果>

◆EC : 地下水平均23.5、河川水平均14.1と河川水の方が低い。

◆ORP : 地下水平均が131.9、河川水平均が183.7と河川水の方が高い。

