

1. 高知県に発生した地下水の六価クロム汚染とその対策

山中 律・大森真貴子・西森一誠*・仙波伸治**

The Groundwater pollution by hexavalent chromium and the Countermeasure in Kochi Prefecture

Ritsu YAMANAKA・Makiko OOMORI・Kazuo NISHIMORI*・Shinji SENBA**

【要旨】 平成19年7月に、水質汚濁防止法に基づく地下水概況調査の対象井戸から、水質環境基準値（0.05 mg/L）を超過する六価クロムが検出された。汚染井戸の周辺調査の結果、メッキ工場から漏出した無水クロム酸と硫酸によるサージェント溶液が原因であることが判明し、汚染範囲は地下水の流向方向に幅120m、延長1,200m程度と推定された。平成19年8月から観測井を含む11井戸を対象に、環境研究センターと衛生研究所によって週1回のモニタリング調査と希望者の水質調査が行われた。その結果、平成21年9月現在までに調査された211井戸（延べ1954井戸）のうち52井戸に汚染が認められ、そのうち33井戸が基準値を超過し、最高濃度は1.13mg/Lであった。汚染源対策により、観測井を除く10井戸は平成20年8月以降、観測井は11月以降基準値以下となったが、現在もモニタリング調査は環境研究センターによって継続されている。

Key words：六価クロム，地下水汚染，汚染範囲，モニタリング調査，汚染源対策

はじめに

水質汚濁防止法第15条に基づき、公共用水域や地下水は県の環境担当部局において常時監視が行われている。地下水では概況調査や定期モニタリング調査等が行われるが、県下全体の地下水水質の把握を目的とした概況調査では、対象地域を移動させながら毎年20井戸程度を新たに選定し、調査を行っている。

平成19年7月3日に行われたこの概況調査で、A市内B地区の飲用井戸から、地下水の水質環境基準値（0.05mg/L：水道水質基準と同じ）を超える六価クロム0.12mg/Lが検出された。直ちに県環境担当課、水道担当課及びA市の関係各課で協議が行われ、所管の福祉保健所と環境研究センターによって水質調査が行われた結果、複数の井戸で六価クロムによる汚染が確認された。県と市では、報道機関や市の広報を通じて市民への周知徹底を

図るとともに、汚染範囲の特定と汚染原因の究明が進められた。

本事例は後述するように、メッキ工場から六価クロムを含むサージェント溶液が漏出したことによる広範囲な地下水汚染事故であり、行政や地元住民、発生源となった企業との連携や研究機関の協力など関係者の総力を挙げての対応となった。その結果、発見からおおよそ1年7ヶ月を経過した平成21年2月以降、地下水から六価クロムはほとんど検出されなくなった。しかし9月現在も地下水のモニタリング調査は続けられており、六価クロム汚染事故はまだ完全に終息したものではないが、筆者らはこれまでの取り組みを時系列で整理するとともに若干の考察を加えて報告することとした。なお取りまとめに際しては環境研究センターと衛生研究所が共同で水質調査を行っているため、同一内容ではあるが、それぞれの機関の報告書へ共同執筆で報告している。

* 高知県衛生研究所

** 応用地質株式会社四国支社高知支店

1. 地下水汚染の発見と初期対応

1. 1 地域の概況

A市は高知県のほぼ中央部に位置し、隣接するC市との間には北の四国山地から南の太平洋に直線的に流れ込む一級河川D川が流れている。六価クロムによる地下水汚染が発生したB地区は市の中心地の南西部にあたり、世帯数は約1070戸（平成19年度）である。地区の北部は主に住宅地や商業地で北東端部にメッキ工場があり、南部は水田地帯である。

この地区では多くの井戸が3m程度の掘削で地下水が得られることから、多くの住宅や事業場では打ち込み井戸を飲用や生活用水等に利用している。また水量が豊富なことからA市の上水道の水源としても利用されており、帯水層は地元の水道工事業者等によれば地下20m程度まで及ぶといわれている。

1. 2 汚染の確認

高知県では、地下水の水質概況調査は1市町村あたり5カ所程度の井戸を選定し、5年で県内を一巡する計画で、高水位期と低水位期の年2回、民間検査機関に委託して実施されている。平成19年度はA市に5カ所、そのうちの1カ所がB地区に選定された。

平成19年7月10日、委託先の民間検査機関から県の環境担当課（清流・環境課、以後清流・環境課という）に「7月3日に採水したA市B地区の井戸（井戸-1）から0.12mg/Lの六価クロムが検出された」との報告があった。翌11日、所管の福祉保健所と環境研究センターによって当該井戸の再調査が行われ、0.20mg/Lの六価クロムが検出された。

この報告を受けて、13日までに汚染井戸の直近及び周辺12井戸の調査が行われた。しかし異常は認められず、台風接近のため調査を一時中断し、17日に改めて汚染井戸を含む周辺4井戸の調査が行われた。その結果、井戸-1の南西方向に新たな汚染井戸が2カ所（井戸-15：0.07mg/L、井戸-18：痕跡）見つかった。また井戸-1の濃度が0.27mg/Lに上昇していた。

清流・環境課では翌18日に住民への周知のためこの状況をA市に伝えるとともに、新たに13井戸の調査が行われた。その結果0.87mg/Lの汚染井戸（井戸-9）が見つかった。さらに19日に12井戸の調査が行われたところ、新たな汚染井戸（井戸-28：0.02mg/L）がみつかるとともに、井戸-1の濃度が1.13mg/Lに急上昇していた。

これらのことから六価クロムによる地下水汚染と判断され、公表と汚染源並びに汚染範囲の特定に向けて準備が進められた。7月3日から19日までに調査された29井戸（延べ43井戸）の結果を図-1に示す。

1. 3 汚染の公表

六価クロムによる地下水汚染が明らかになったため、翌20日に清流・環境課は飲用井戸を所管する食品・衛生課と合同で報道機関への公表（新聞報道は7月21日）を行った。A市は汚染井戸周辺の重点区域を対象にチラシ配布等を行い、周知徹底と理解・協力を呼びかけた。また住民からの相談にはA市と所管の福祉保健所が対応するとともに井戸水を飲用利用している世帯に対しては水道水への切替え指導が行われた。一方、状況把握のための水質調査が進められ、20～22日までの間に住民からの持ち込みや継続調査を含めて57井戸の水質調査が行われた。その結果、これまでに調査された井戸のうち基準値を超えたものは11井戸、基準値以下ではあるが検出されたものは5井戸となり、汚染源と汚染範囲の特定が急務となった。

1. 4 汚染源と汚染範囲の特定

1. 4. 1 汚染源の特定

A市のB地区にはメッキ工場が北東端部に存在することを既に述べた。このメッキ工場は昭和30年代から現地で営業しており、平成2年に新工場を建築した際、薬液の漏出防止策として各処理槽に厚さ35cmのコンクリート壁でプール状のピットを順次設け、この中に処理槽を設置して六面監視ができる構造とし、ピットの周りには洗浄水等の排水路を設けている。

7月17日までの調査で六価クロムによる地下水汚染が濃厚となったため、翌18日と20日に清流・環境課と所管の福祉保健所がこの工場を訪問し、

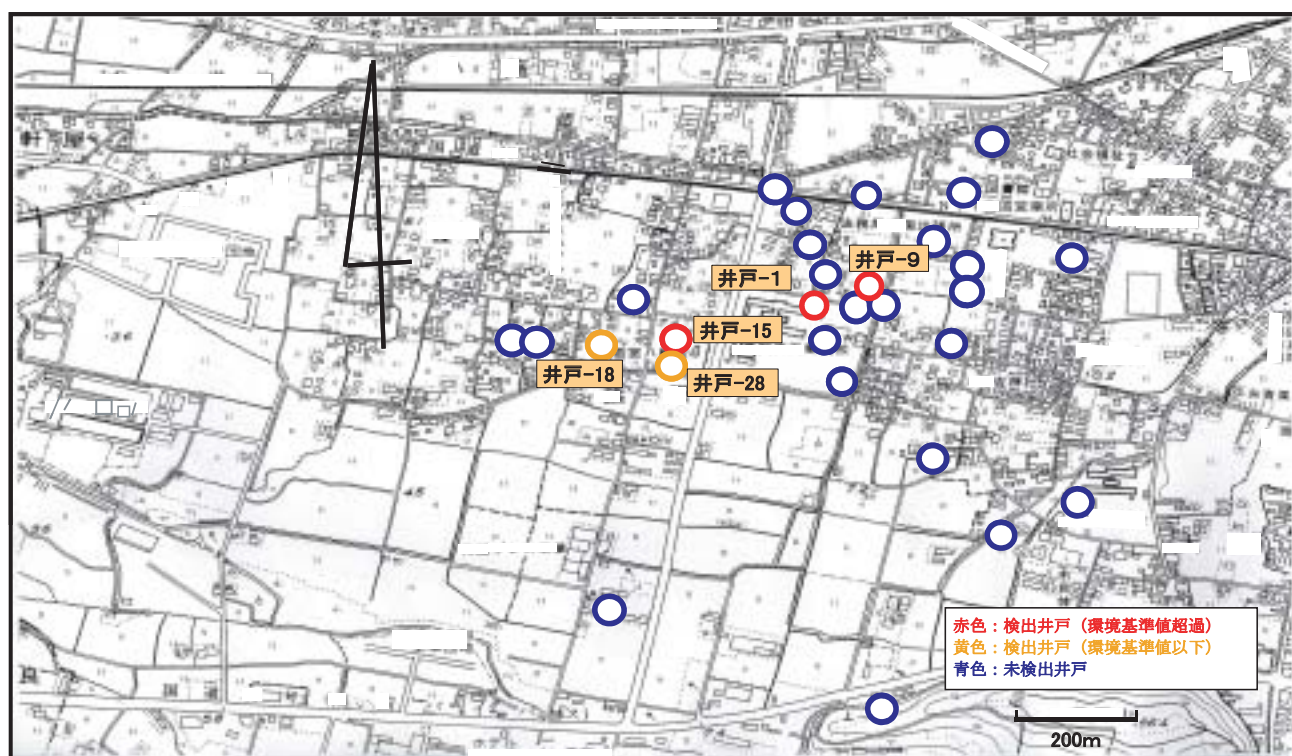


図-1 六価クロムによる初期の汚染井戸
注) 調査期間：平成19年7月3日～19日 (n=29)

管理記録等の確認と工場設備の点検，工場敷地内の土壌・地下水の調査等を要請した．この時の行政及び自社による目視調査等では異常が見られなかったが，7月20日の県による報道機関への汚染公表を受け，工場側は操業を中断し，地元の民間分析機関に委託して調査を開始した．22日に事務棟内にある処理槽（6千リットル，鉄製）の漏出防止ピット部分（長さ3.24m，幅2.60m，深さ2.30m）をボーリング調査したところ，コンクリート裏面が黄色く変色し，薬液の漏出が認められた．また直下の土壌分析結果では国の基準値（250mg/kg）を大幅に超える5,500mg/kgの六価クロムが検出された．

以上の結果から，地下水の六価クロム汚染はメッキ工場の処理槽からのサージェント溶液の漏出が原因と判断され，工場側から県や市に状況報告が行われるとともに，7月31日に報道機関（新聞報道は8月1日）に公表された．なお工場敷地内の一部は平成20年2月19日に土壌汚染対策法に基づく指定区域に指定された．

1.4.2 汚染範囲の特定

汚染範囲を特定するために，7月23～30日にかけてメッキ工場から南西方向下流を中心に継続調査も含めて173井戸が調査された．7月3日からの調査井戸数は134井戸（述べ273井戸）となり，汚染源周辺の大部分の井戸が調査された．この時点で基準値を超えたものは18井戸，基準値以下ではあるが六価クロムが検出されたものは16井戸となり，増加の傾向がみられた．しかし，図-2及び図-3に示したように，六価クロムが検出された井戸はメッキ工場から南西方向に向かってほぼ1本のライン上に乗っており，増加傾向があるにしても汚染は限定的で周辺地域への汚染拡大の懸念はないものと判断され，汚染範囲は汚染源を中心に南西方向に向かって概ね幅120～200m，延長1200mと特定された．なお上水道設備のない汚染井戸利用者22戸に対しては，工場側により水道敷設等の応急措置がとられることとなった．

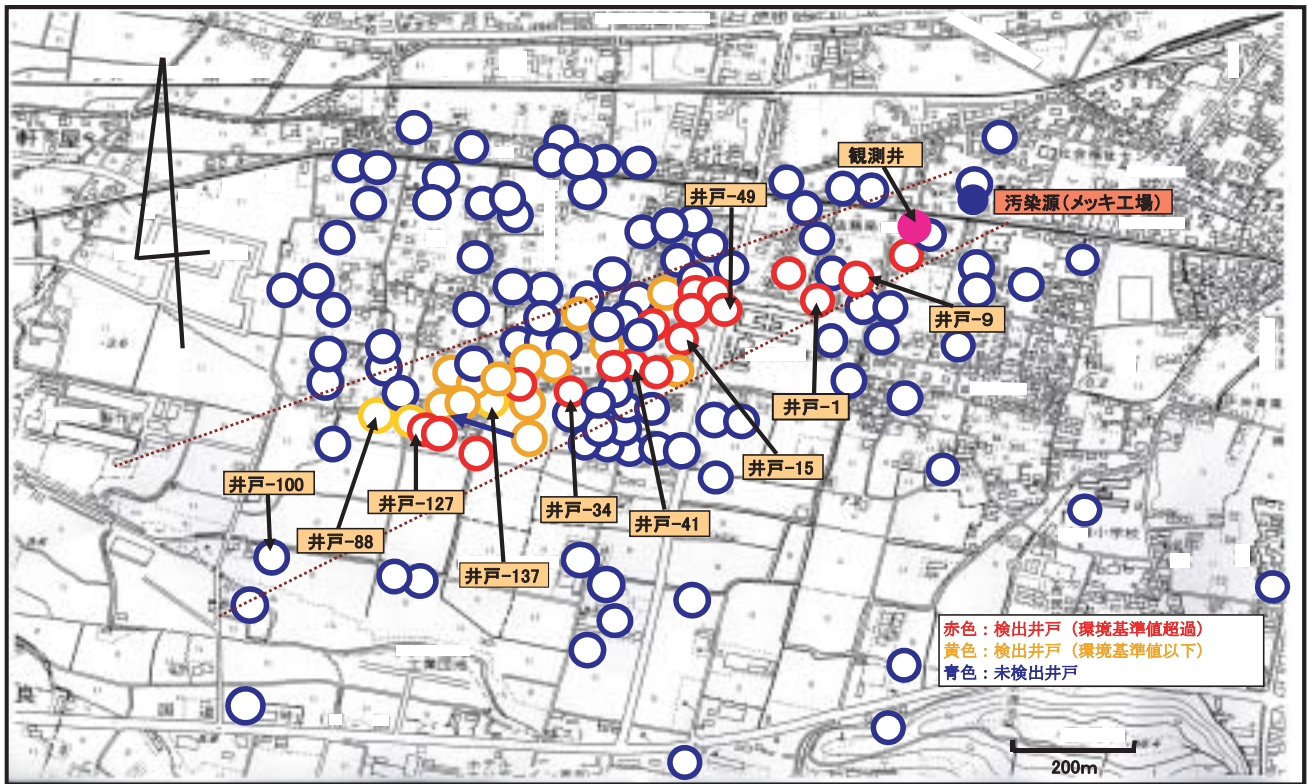


図-2 7月30日までの調査井戸 (n=134)と推定汚染範囲、モニタリング井戸
注) 観測井は平成19年8月27日に設置

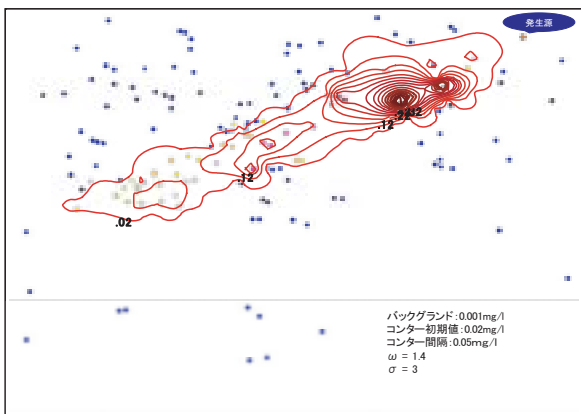


図-3 六価クロム濃度コンター図 (n=134)
注) 青色は未検出井戸である.

1. 5 関係機関や地元住民等との連携

1. 5. 1 関係機関等との連携

7月30日までの調査で汚染源と汚染範囲が特定されたことや、メッキ工場でも早急に対策工事に着手することになったことから、8月からは汚染井戸や周辺井戸のモニタリング、汚染拡大等の緊急事態に備えた関係機関との連携や連絡体制の構

築が重要となった。

清流・環境課は地下水汚染が判明した直後から、関係各課やA市、環境研究センター、衛生研究所等とともに「六価クロム対策連絡会議」を立ち上げ、状況に応じて情報交換と協議の場を設けてきた。8月以降、この会議は意思決定の場として状況に応じて随時開催され、情報交換のほか緊急時における配布資料の内容や役割分担等もこの場で協議・決定された(付表-1参照)。

一方、汚染対策を円滑に進めるためには原因企業と情報を共有するとともに、調査結果や対策方法については学識経験者からの助言も必要とされた。このため環境審議会水質部会委員等の専門家3名をアドバイザーにコンサルタント会社を加えた県、市による「地下水汚染対策アドバイザー会議」が「六価クロム対策連絡会議」と連動する形で9月から設置された。この会議では主に技術的な面で意見交換や討議が行われた(付表-2参照)。

1. 5. 2 地元住民との連携

六価クロムによる地下水汚染が発見された当初

から、地元ではメッキ工場や県・市の対応に大きな関心を示し、平成19年7月20日に地元自治会に「六価クロム対策委員会」が結成された。県・市は地元住民への情報提供や理解と協力を求めるために、以後はこの委員会組織と連携をとりながら地元説明会や緊急時の一斉分析等の対応にあたった。この地元との協議は汚染が発見された当初は頻繁に行われたが、これによって地元住民と汚染源であるメッキ工場や県・市との意思疎通が十分図られ、平成21年9月現在まで大きなトラブルはみられなかった(付表-3参照)。

2. 汚染源の六価クロム対策

2.1 工場敷地内における汚染範囲の特定

汚染源対策はメッキ工場の委託を受けたコンサルタント会社(以後〇社と呼ぶ)によって行われた。汚染範囲や工場敷地内の土質等を把握するためのボーリング調査や土壌溶出試験等は9月から開始され、10月中旬には概ねその範囲が特定された。

ボーリング調査は汚染範囲を特定するため薬液の漏出が認められた処理槽を中心に工場内6ヶ所、事務棟と南側の国道との間に4ヶ所、敷地内2ヶ所(合計12ヶ所)で行われた。この結果、工場附近の地盤は大部分が砂礫層で一部には粘土層も分布しているが連続性に乏しいこと、汚染源と考えられる処理槽直下には地表面下12m附近に粘土層が存在すること、また浅層部の砂礫層は礫と砂が大部分で透水性が高い($8.4 \times 10^{-2} \text{cm/S}$)が、8m以下の深層部は粘土等を含み、透水性が上層よりも低い($7.0 \times 10^{-4} \text{cm/S}$)こと等が明らかとなった。さらに工場附近の地下水位は地表面下約6m(平成19年10月中旬)であるが、北東側が高く南西側は低いことから、地下水は北東から南西方向に向かって流れ、水位差は約10cm、動水勾配は1/500程度と推定された。

土壌溶出試験の結果によれば、漏出が認められた処理槽直下では概略400~500mg/kgの高濃度の六価クロムが検出され、地表面下8m附近にまで汚染が進んでいることが判明した。また汚染は南

西方向に向かって進んでおり、敷地境界線附近でも地表面下5~7mの深さまで汚染が確認された。これらの結果から、汚染範囲の延長は概ね六価クロムが漏出した処理槽から北東方向に約4m、南西方向に向かって約23m、幅は処理槽を中心に約8m、深さは約7mで最深部は8m程度と推定された。図-4に処理槽を中心とした工場敷地内のボーリング位置と推定汚染範囲を、図-5に北東から南西方向に向かっての土質と土壤汚染の範囲を示す。

2.2 除去対策

〇社ではこれらの結果をもとに、処理槽のある事務棟の解体作業は行わずに対策を講じることとなり、緊急対策、応急対策、恒久対策の工事が行われた。それぞれの内容と実施期間を表-1に示す。

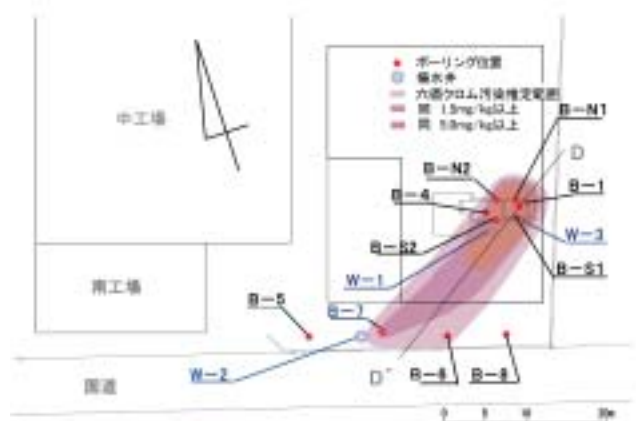


図-4 工場敷地内のボーリング位置と推定汚染範囲
注) ボーリング時期は平成19年9~10月、揚水井は平成19年12月及び平成20年4月に設置

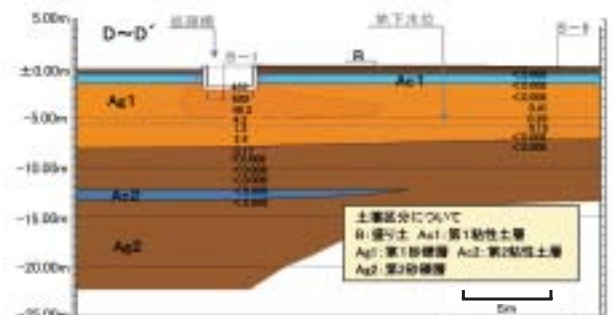


図-5 南西方向の土壤汚染状態
注) 図中の数値は土壌溶出試験における六価クロム濃度(mg/kg)である。

表-1 汚染源対策の内容と実施期間

対策区分	内 容	平成19年					平成20年												平成21年									
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
緊急	処理槽直下の土壌除去		■																									
応急	ボーリング調査		■	■																								
	処理槽周辺の土壌除去				■																							
	補強工事・追加掘削・土壌除去								■																			
	土壌還元処理									■																		
	通水洗浄（散水処理） 〃（湛水処理）																											
恒久	揚水井設置																											
	地下水の汲み上げ																											
	地下水モニタリング																											

注) 地下水モニタリングは敷地内での地下水位や六価クロム濃度等の測定である。

緊急対策は高濃度汚染が確認された処理槽直下1mの汚染土壌の除去である。この作業は前述のボーリング調査とほぼ並行して行われ、9月末までにおよそ6m³の汚染土壌が撤去された。応急対策はさらなる汚染土壌の除去で、11月から12月中旬にかけて約13m×8mの範囲の土壌が地表面から約2.7m下（最深部3.7m）まで掘削・撤去された。土壌除去量は約260m³に達した。この汚染土壌の除去は平成20年4月にも行われ、掘削に伴う補強工事も同時に実施された。

恒久対策は残った土壌中の六価クロムの除去で、12月に揚水井2ヶ所が設置され、平成20年1～2月にかけて薬剤による土壌還元法が一部で試験的に実施された。しかし目立った効果が得られなかったため、土質が砂礫質で透水係数が高いことから通水洗浄法が採用され、平成20年4月に新たな揚水井1ヶ所が追加設置された。洗浄作業は5月27日から開始され、当初は散水方式で行われたが11月14日以降は湛水方式に切り替えられた。また平成20年1月からボーリング孔4ヶ所を利用して六価クロム濃度のモニタリングと揚水井からの地下水の汲み上げが開始され、通水洗浄が始まった6月からは3本の揚水井で汲み上げが行われた。これまでの通水量は散水方式で概略0.5～4m³/日、湛水方式では25～80m³/日、揚水井の地下水汲み上げ量はおよそ80～140m³/井戸/日となった。

なお平成21年9月現在も通水洗浄や敷地内での地下水モニタリングは行われているが、ボーリング調査は状況に応じて追加され、平成21年9月現在までに敷地内15ヶ所で行われた。

3. 地下水モニタリングによる監視

3.1 モニタリング井戸の選定と試験研究機関の連携

7月30日までの結果をもとに、8月7日に開催された「六価クロム対策連絡会議」において、図-2に示したようにメッキ工場から南西方向のラインに乗る10井戸がモニタリング井戸に選定され、13日から調査が開始された。また、地下水位や層位別の六価クロム濃度を観測するための観測井（深さ10m）が8月27日にメッキ工場から南西方向約120mの地点に設置された。これらの井戸の調査頻度は1回/週、観測井を除く10井戸が環境研究センターと衛生研究所によって共同調査された。さらに補足調査として周辺6井戸が選定され、1回/月住民によって採水が行われた。

以上のような体制で地下水の六価クロムを監視することとなったが、六価クロム濃度が上昇する可能性がある梅雨期等は一斉分析の必要性も検討され、緊急時は環境研究センターと衛生研究所が分担して調査にあたることになった。この共同調査は平成21年1月まで続けられ、一斉分析は4回実施された。モニタリング井戸の六価クロム濃度の推移については後述するが、2月以降は汚染源の対策状況や濃度推移からみて基準値を超える恐れはないと判断され、1回/月環境研究センターによって平成21年9月現在も調査が継続されている。

平成19年7月3日の発見からこれまでの調査井戸数は、観測井や一斉分析も含めると211井戸（延べ1954井戸）となり、そのうち基準値を超え

たものは33井戸、基準値未満ではあるが検出されたものは19井戸となった（付表-4参照）。平成20年8月以降は新たな汚染井戸は発生していない。

3. 2 調査項目と調査方法

汚染が発見された当初、六価クロム汚染は土木工事に由来するセメント（井戸-1の北側道路は改修工事が行われている）や六価クロムを含む化合物の影響等が考えられた。しかし、表-2に示したように随伴イオンをみると汚染井戸と非汚染井戸との間には差が認められず、地下水中の六価クロムは重クロム酸やクロム酸由来ではないかと推測された（7月22日のメッキ工場の調査で、サージェント溶液に含まれる無水クロム酸であることが判明）。そこでモニタリングの対象物質は六価クロムに限定し、水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位等は現地で行った。また観測井については、長さ1mの井戸用採水器を用いて上層（地表面下3～5m）、中層（5～8m）、下層（8～10m）の層位別に採水するとともに地下水位の測定を行った。

六価クロムの分析は多数の試料を扱うことからジフェニルカルバジド吸光度法（JIS K 0102）をスケールダウンして実施した。すなわち目盛り付試験管に供試液10mLを採取し、（1+9）硫酸0.5mL、ジフェニルカルバジド溶液0.2mLを加えて発色させ、15分以内に波長540nmで吸光度を測定した。定量下限値は0.02mg/L、有効数値以下は切り捨てとしたが、本報では定量下限値未満でもわずかに着色がみられる場合は痕跡とし、検出として取り扱った。

4. 結果及び考察

平成19年7月3日に発見された六価クロム汚染事故は、汚染源対策の進展等により平成20年11月以降は観測井、モニタリング井戸ともに基準値以下となった。

ここでは、まず汚染が発見された初期に福祉保健所等によって行われた聞き取りや一斉分析時のアンケート調査（井戸の深さ、利用形態等）と水温、pH等の測定結果から、地区内の井戸や地下水の特徴を明らかにするとともに、地下水位に及ぼす河川水量や降雨量の影響、地下水の流速、pHや電気伝導度に及ぼす六価クロムの影響、汚染源対策と地下水中の六価クロム濃度の関係等について考察する。

4. 1 井戸の利用形態と深さ、水質

4. 1. 1 井戸の利用形態と深さ

前述したようにこれまでの調査井戸数は211井戸であるが、観測井と水源利用4井戸を除く206井戸のうち、聞き取りやアンケートで利用形態が判明したものは199井戸であった。内訳を見ると飲用利用されているものは192井戸（うち上水道との併用39井戸）、プールや農業利用等が7井戸で、ほとんどが飲用に利用されており、地下水への依存度が高いことが伺われた。

井戸の深さについて回答のあったものは88井戸（42.7%）で、このうち5mまでが9井戸（10.2%）、5～10mまでが37井戸（42.0%）、10～15mまでが24井戸（27.3%）、15～20mまでが11井戸（12.5%）、20mを超えたものは7井戸（8.0%）であった。

表-2 六価クロム汚染に関係する各種イオン濃度

関連物質	化合物	イオン	汚染井戸 (mg/L)			非汚染井戸 (mg/L)
			井戸-9	井戸-1	井戸-15	平均 (n=3)
六価クロム 含有薬品	K ₂ CrO ₄	K ⁺	1.40	1.29	0.89	1.21
	K ₂ Cr ₂ O ₇					
	Na ₂ CrO ₄	Na ⁺	6.3	6.7	6.6	6.4
六価クロム 含有顔料	PbCrO ₄	Pb ²⁺	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	ZnCrO ₄	Zn ²⁺	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	SrCrO ₄	Sr ²⁺	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
関連薬品	H ₂ SO ₄	SO ₄ ²⁻	13.6	13.7	12.2	13.0
セメント	CaCO ₃	Ca ²⁺	28.5	26.2	20.9	25.4
製造関連物質	CaF ₂	F ⁻	0.058	0.050	0.039	0.047
蛇紋岩		Mg ²⁺	2.62	2.35	2.90	2.55

注-1) 分析はICP/MS及びバイオクロマト法による。

-2) 井戸-9、井戸-1、井戸-15の六価クロム濃度は0.88、1.13、0.08mg/Lである。

図-6は平成20年4月～9月までの観測井とモニタリング井戸の水温変化である。一般に地下水の水温は流動が遅く、その深度の地中温度と平衡状態にある¹⁾といわれ、深い井戸ほど外気温の影響を受けにくく、水温は安定していると考えられる。観測井の水温をみると概ね18～22℃、モニタリング井戸は16～24℃の範囲で変化している。変動幅をみると観測井は上層ほど大きく、モニタリング井戸は変動幅の大きいものから比較的小さいものまで概ね3つのグループに分かれる。観測井の層位ごとの水温変動からモニタリング井戸の深さを推定すると、井戸-1、井戸-34が5m未満、井戸-49、井戸-15、井戸-100が10m以上、井戸-9、井戸-41、井戸-127、井戸-88はその中間に位置するのではないと思われる(聞き取り等では井戸-49が30m、井戸-100が14m、井戸-41が10m、井戸-88が8m)。

井戸の深さについては自己申告であり、また88井戸とやや少ないが、回答値とモニタリング井戸の推定深度が比較的合致することからその信頼性はかなり高いと考えられる。最も多かったのは5～15mまでの井戸で69.3%を占めていることや、

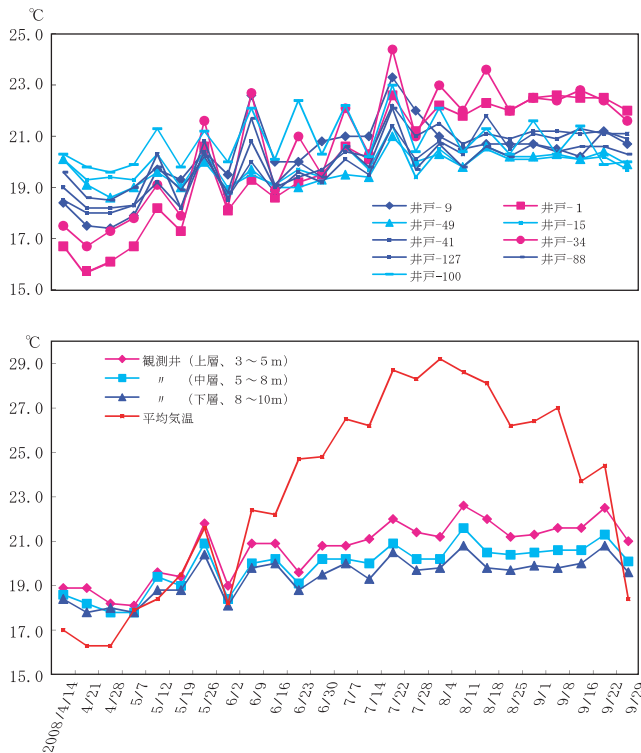


図-6 観測井とモニタリング井戸の水温変化

注-1) 平均気温はアメダスデータによる。
 注-2) 井戸-137は採水できない場合もあって割愛した。

浅い井戸が多いという地元住民の見解等を加味するとB地区の井戸は相当数が5～10m程度の浅層井戸と推測される。

4. 1. 2 地下水の水質と六価クロムの影響

地下水の水質については、まず六価クロムが検出されなかった159井戸のうち、環境研究センターで調査された147井戸を対象にpHと電気伝導度について検討した。ここでは集計に際して繰り返し調査を行っている場合は初回調査時の測定値を用い、算術平均値を求めたが、これによれば平均pH 6.6 (SD: 0.2), 平均電気伝導度176 μ S/cm (SD: 16)であった。

県下全域の地下水水質調査結果²⁾では三宝山亜帯(沖積層)(B地区はこの層に属する)の地下水は平均pH6.7, 平均電気伝導度146 μ S/cmと報告されている。また金田ら³⁾によればD川流域11井戸(7～20m, 砂礫層)の地下水水質は平均pH 6.6 (SD: 0.1), 平均電気伝導度150 μ S/cm (SD: 16.8)である。これらに比べるとB地区の地下水は同じ地質で同じD川流域であるにしてもやや電

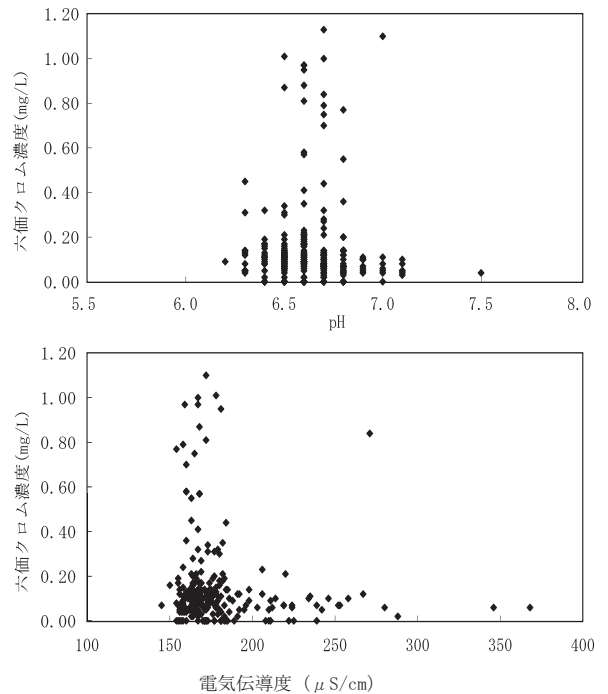


図-7 観測井及びモニタリング井戸のpH, 電気伝導度と六価クロム濃度の関係 (n=251)

注) 環境研究センター調査分(調査時期:平成19年7月17日～平成20年1月28日)

気伝導度が高い傾向が認められる。この点については調査時期による影響も考えられるが、その原因については今後詳細な調査が必要と思われる。

六価クロムの影響については、観測井とモニタリング井戸を対象に、大部分の井戸で地下水中に六価クロムが認められた汚染発見からおよそ6ヶ月間のデータでpH、電気伝導度との関係を検討した。これによれば、図-7に示したように大部分のpHは6.5~6.8、電気伝導度は150~190 μ S/cmの範囲内にあり、六価クロムの影響は認められなかった。

4. 2 地下水位に及ぼす降雨量、河川水量の影響と地下水の流速

4. 2. 1 地下水位に及ぼす降雨量と河川水位の影響

観測井が設置されてから約1年間の地下水位と降雨量、D川の河川水位を図-8に示した。まず地下水位をみると9月下旬頃からしだいに低下し

始め、最も低くなるのは3月上旬頃に地表面下6m程度にまで低下している。しかし3月下旬から急速に水位が上昇し、6月~7月にはピークを迎えて地表面下3m程度にまで上昇している。このような地下水位の動きから、B地区の水位変動は年間3m程度と推定される。

降雨量と河川水位との関係を見ると、降雨量が多くても河川水位が上昇しない時期がみられる。平成19年11月から平成20年1月にかけて20mm以上の降雨は12月28日に48mm、1月12日及び20日にそれぞれ22mm、29mmが観測されているが、この時期、河川水位は-0.90m付近でありあまり変化がみられない。D川には上流部に3つのダムがあり、降雨量が多くてもダムの貯水量が少ない渇水期は放流されない場合がある。降雨量と河川の水位変化が必ずしも平行でない原因は、このダムによる貯水が関係しているものと思われる。

地下水位をみると、その動きは降雨量よりもD

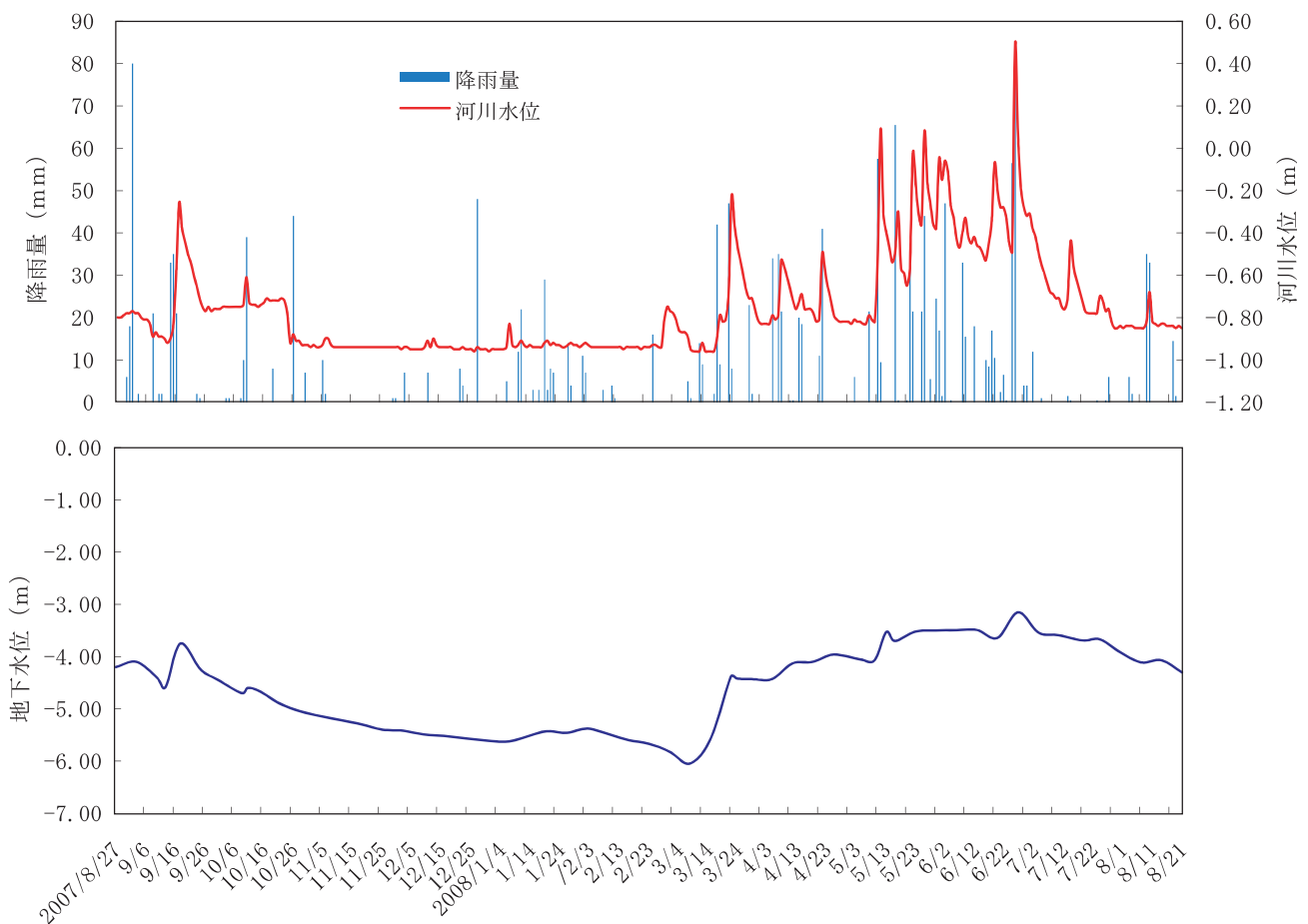


図-8 降雨量とD川の河川水位、観測井の地下水位の推移

注) 降雨量はアメダスデータ、河川水位は日平均で国土交通省の定点観測による。

川の水位とよく連動している。D川の下流は縦長10km, 集水域面積200km²以上の流域に形成された扇状地⁴⁾で、扇端部には河川の伏流水による湧き水が多いといわれている。地形図⁵⁾をみるとB地区はこの扇状地のほぼ扇端部に位置している。前述したように地元住民の見解や5~10m程度の浅層井戸が多いこと等からこの地区の地下水はD川の伏流水と考えられ、ダムの影響もあって降雨量よりも河川水量の影響をより強く受けているものと思われる。

4. 2. 2 地下水の流速

地下水の流速は汚染範囲を予測する意味でも重要であるが、今回の六価クロム汚染事故は住宅地で発生したため、トレーサー法等で流速を実測することができなかった。

地下水の流速については透水係数、動水勾配、間隙率によってダルシーの式で求めることができるが、流速が緩やかな層流に限られる⁶⁾。扇状地の地下水流速について山本ら⁷⁾は10~11m/日、佐々木ら⁸⁾は15~21m/日、山中ら⁹⁾は15m/日であることを報告しており、地下水の平均流速1m/日¹⁰⁾に比べると大変速い。ちなみにO社による敷地内の土壌調査結果(砂礫層の透水係数: 8.4×10^{-2} cm/S, 動水勾配: 1/500)からダルシー則に基づき、間隙率を30% (粗粒砂) と仮定して流速を計算すると0.48m/日となり、ダルシー則による計算式は適用できないと思われる。

地下水の流速については六価クロム濃度の推移から求める方法が考えられる。しかしイオンの地下水中の移動は必ずしも地下水の流速とは一致せず、一般に重金属の場合は地下水での拡散が小

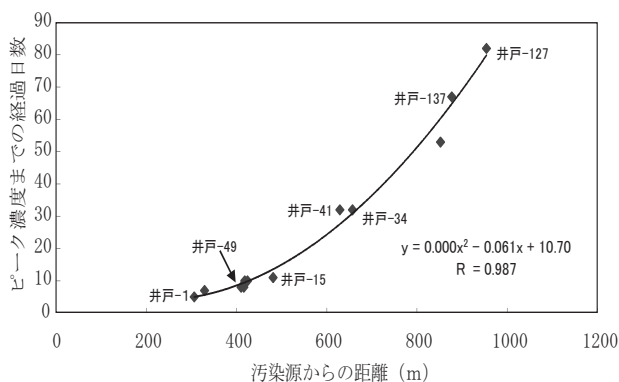


図-9 六価クロムの移動速度

注) 調査期間: 平成19年7月17日~10月31日

さく流速に比べて著しく遅れる⁶⁾といわれている。図-9に六価クロムの濃度ピークが認められた12井戸を対象に、メッキ工場からの距離とピークに達するまでの日数を示した。これによれば距離が離れるほどピークに達するまでの日数が長くなり、その関係は直線ではなく二次曲線に回帰する。このことは本事例でも六価クロムの移動速度と地下水の流速が一致せず、距離が離れるほど遅くなっていることを示唆する。しかし汚染源に近い概略500m以内では比較的直線関係が認められ、流速の推定も可能と考えられることから、ここでは汚染源に近い5井戸で検討する。

図-10に汚染が発見された7月3日から8月13日までの各井戸の六価クロム濃度の推移とメッキ工場からの距離、降雨量を示した。これによればメッキ工場から距離が遠い井戸ほど濃度ピークが遅れて現われ、ピーク高も低く形状はよりフラットになっている。下流側の井戸-41は発見から40日以上経過した8月13日でもまだピークがみられない。7月は14日に227mmの降雨が観測されており、これによって六価クロムが南西方向へ流され、下流側の井戸で順次ピークが出現するとともに土壌による吸着や拡散等によって濃度が低下しているものと考えられる。

工場に最も近い井戸-9のピーク時は判然とし

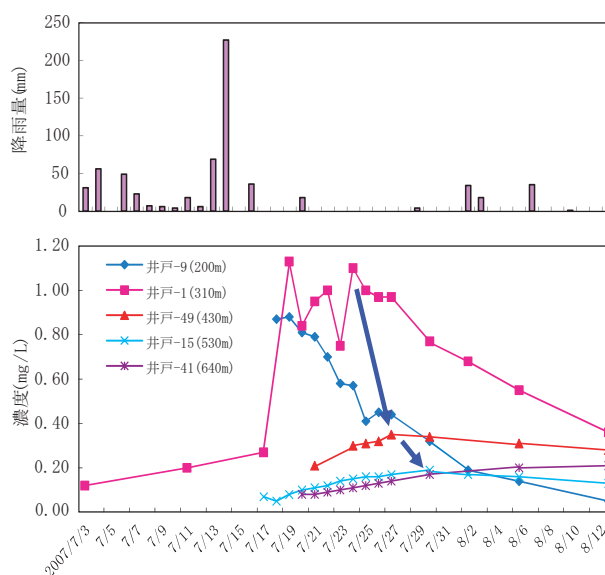


図-10 汚染井戸の六価クロム濃度の推移と降雨量

- 注-1) 降雨量はアメダスデータによる。
- 注-2) カッコ内数字はメッキ工場からの距離を示す。
- 注-3) 矢印は濃度ピークの推移を示す。

ないが、次に近い井戸-1のピークが現れたのは7月19日と24日、この井戸から120m離れた井戸-49のピークが現れたのは7月27~28日で、井戸-1の2回目のピークから3~4日経過している。メッキ工場では処理槽のボーリングが22日に行われており、井戸-1の2回目のピーク(24日)はこの影響があったのではないと思われる。さらに井戸-15のピークがみられたのは7月30~31日である。このように濃度ピークがみられた3井戸でピークの遅れ(日数)と井戸間の距離から流速を計算すると、この地区の地下水の流速は概ね30~50m/日となる。前述した地下水の流速10~21m/日に比べるとかなり速いが、扇状地でも地下水の流速には5m, 48m, 136m/日⁶⁾とかなり差があることから、この推定値は妥当なものではないかと思われる。

4. 3 モニタリング井戸の六価クロム濃度の推移と汚染源対策及び六価クロムの土壌吸着と地下水の酸化還元電位

4. 3. 1 六価クロム濃度の推移と汚染源対策

図-11に観測井とモニタリング井戸それぞれの六価クロム濃度の推移を地下水位の動きと併せて示す。

まず観測井の六価クロム濃度の推移をみると概ね濃度は上層>中層>下層の傾向を示した。また地下水位の上昇に伴って濃度も上昇しており、上層ほどその傾向が著しい。平成20年4月頃までは地下水位の上昇に伴って濃度が急上昇する時期(平成19年9月18日、平成20年3月26日等)もみられ、下層でも基準値以上の六価クロムが検出されている。汚染源対策をみると、表-1に示したように平成20年4月25日頃まではまだ抜本的な対策ではなく、汚染土壌の除去や土壌還元処理の検討時期である。この時期の六価クロム濃度の急上昇は、土壌中に留まっていた六価クロムが地下水位の上昇によって洗い出された結果と考えられる。

5月に入ると上層と中層ではまだ基準値を超えているが下層ではほとんど検出されなくなり、11月以降は上層、中層、下層いずれもほとんど基準値以下で推移している。通水洗浄は平成20年5月27日から開始され、10月末までは散水方式で、11月14日からは湛水方式に切り替えられている。前述した5月以降の濃度低下はこの通水洗浄の効果

と考えられる。

一方、モニタリング井戸の六価クロム濃度の推移をみると、平成20年1月頃までは急激な低下を示す井戸(井戸-1, 井戸-49, 井戸-34等)から比較的緩やかに低下する井戸(井戸-137, 井戸-88等)まで様々であるが、多くの井戸が基準値(0.05mg/L)以上で、中には0.10mg/Lを超える井戸もかなりみられる。また初期は観測井と同様に、地下水位の上昇に伴って濃度が高くなる傾向を示す井戸(井戸-88, 井戸-137等)もみられたが、2月以降はかなりの井戸が0.05~0.10mg/Lの範囲に入るようになり、0.05mg/L未満の井戸もいくつかみられる。8月以降は全ての井戸が0.05mg/L以下となり、平成21年2月以降は検出下限値(0.02mg/L)附近もしくは検出されない状態が9月現在まで続いている。なお汚染源から最も遠い井戸-100はこれまで全く検出されていない。

観測井とモニタリング井戸の六価クロム濃度の推移をみると、観測井では六価クロム濃度と地下水位が比較的連動しているが、モニタリング井戸では初期にいくつかの井戸でそのような傾向がみられたものの、全体を通してみると地下水位に関係なく、濃度はしだいに低下している。

図-12に図-9で示した12井戸に1井戸を加え、六価クロムのピーク濃度及び最高濃度を距離との関係で示した。これによればメッキ工場から400m以上離れた10井戸は概ね0.1~0.3mg/Lの範囲内にあり、この中で緩やかな濃度低下の傾向を示しているが、それより近い3井戸では0.10mg/Lもあれば1.13mg/L(井戸-1)やピーク濃度ではないものの0.88mg/L(井戸-9)という高濃度の六価クロムが検出されている。このように汚染源から400m程度離れた場所を境に濃度ピークに大きな違いがみられるが、この附近には工場もなく地下水の汲み上げによる濃度低下とは考えられない。井戸の深さをみると、400m以上離れた10井戸のうち4井戸が10m(2井戸)、13m, 30mで地区内ではやや深い。400m以内の3井戸のうち2井戸(井戸-1, 井戸-9)は既に推定したように深さが5m未満及び5~10mで前者に比べるとやや浅い。

O社による敷地内のボーリング調査では、大部分が砂礫層であるが部分的に粘土層が混入するこ

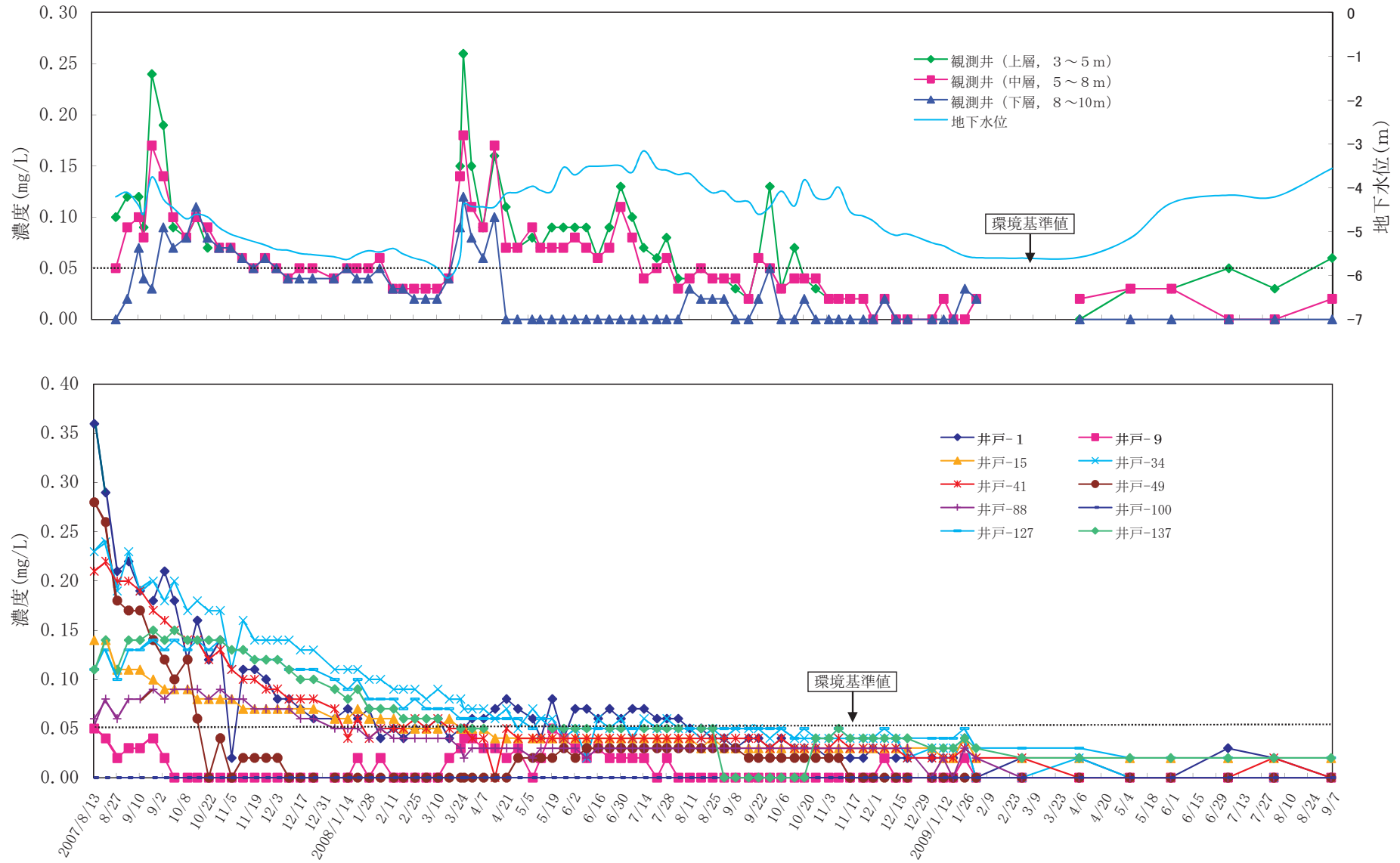


図-11 観測井とモニタリング井戸の六価クロム濃度の推移

注) 観測井の2009年3月は異物混入のため採水できず.

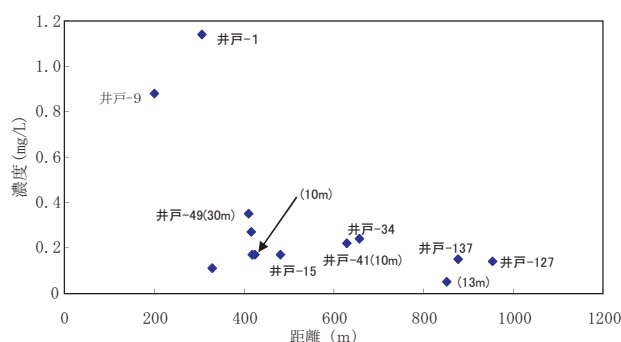


図-12 メッキ工場からの距離と六価クロムのピーク時濃度

- 注-1) 調査期間：平成19年7月17日～10月31日
 -2) 井戸-9はピークが判然とせず調査期間中の最高濃度である。
 -3) 括弧内は聞き取り等による井戸の深さである。

と、8 m以下は粘土を含み、浅層部に比べるとやや透水性が低いとされている。井戸の深さが判明しているものが少なく、また敷地外の土質が明らかでないため若干の問題はあるが、この粘土を含んだ層に高濃度の六価クロムがある程度吸着され、残ったものが下流域にある10m以上のやや深い井戸で、0.1～0.3mg/Lという低濃度で検出されているのではないかとと思われる。

観測井とモニタリング井戸について、汚染源からの距離をみると、観測井と井戸-1、井戸-9以外は全て400m以上離れている。モニタリング井戸が全体的に地下水位の影響をあまり受けずに緩やかな濃度低下を示しているのは、8井戸の地下水ではこの吸着後のクロムを測定していた可能性もあり、土質以外に井戸の深さ等も関係しているのではないかと推測される。

4. 3. 2 六価クロムの土壌吸着と地下水の酸化還元電位

千葉県の六価クロム汚染事故¹¹⁾では1983年に地下水汚染が発見され、揚水井による汲み出し等の対策がとられたが、5年経過してもまだ地下水から検出されている。本事例でも通水洗浄等の対策がとられているが、2年2ヶ月を経過した現在でも地下水中に微量の六価クロムが検出されており、六価クロムは長期間土壌に留まることが予想される。

六価クロムの土壌による吸着と溶脱を古川ら¹⁴⁾の実験データで推定すると、酸化還元電位234mVの赤土ではpH6附近では約1.2mg/gの六価クロムが吸着され、水での抽出割合は25%程度とかなり

表-3 地下水（観測井，モニタリング井戸）の酸化還元電位

井戸	酸化還元電位(mV)	SD	n
観測井（上層）	216	44	34
〃（中層）	205	37	52
〃（下層）	203	51	52
井戸-9	199	42	25
井戸-1	142	34	25
井戸-49	200	45	25
井戸-15	196	45	25
井戸-41	183	46	25
井戸-34	176	44	25
井戸-127	198	57	25
井戸-137	189	45	17
井戸-88	197	56	25
井戸-100	695	36	25

- 注-1) 調査期間：平成19年9月13日～平成20年9月16日
 -2) 酸化還元電位は算術平均値である。
 -3) 観測井の上層は3～5m、中層は5～8m、下層は8～10mである。

少ない。六価クロムはpH6以上では CrO_4^{2-} で存在し、土壌中の水酸化鉄や酸化鉄等に吸着され、炭酸水素イオン等のオキソ酸イオンの影響を受ける¹²⁾といわれている。観測井やモニタリング井戸の地下水の酸化還元電位をみると、表-3に示したように井戸-1がやや低く、井戸-100がかなり高い以外はいずれも平均値は200mV前後で井戸間の差は認められない。鉄においては酸化還元電位が200mVの場合、pH7では $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の形態をとるが、pH6は Fe^{2+} と $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の境界領域¹³⁾とされている。地下水のpHは前述したように大部分が6.5～6.8であり、酸化還元電位は井戸-100を除いて概ね各井戸とも150～250mVの範囲にあるため、滞水層中の六価クロムは CrO_4^{2-} の形態で、条件によって $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等の水和酸化物に吸着あるいは溶存状態で下流域に流れるとともに、地表附近の土層中では三価鉄を含むゲータイト等の粘土鉱物に吸着されて留まっていると思われる。

大橋ら¹⁵⁾によれば土壌の種類によって六価クロムの吸着量は異なり、pHに關係する OH^- が吸着の際の競争的アニオンになるという。このことは地下浸透においては六価クロムを含む溶液のpHや土壌の種類が吸着量に大きな影響を及ぼすとともに、滞水層中では鉄化合物の存在形態、地下水のpH、酸化還元電位、共存イオン等が吸着と溶出に關係していると思われるが、土壌中での移動と吸着等

に関しては今後更なる研究が待たれる。なお井戸-100は酸化還元電位が700mV附近にあり、他の井戸とは水脈が異なる可能性がある。

4. 4 滞水層へのサージェント溶液の到達時期

今回の六価クロム汚染事故は漏出したサージェント溶液が地下浸透して滞水層に到達し、その中に含まれる六価クロムが地下水の流れに乗って拡散したものである。当初は六価クロム濃度も低いが、漏出が止まらない限り供給が続けられるため、地下水中の濃度は次第に高くなる。図-10において井戸-1の濃度が7月3日から次第に上昇しているのはこれが原因と思われる。

処理槽から漏出したサージェント溶液が滞水層に達したのはいつ頃であろうか。ここでは漏出した最初のサージェント溶液中の六価クロムが地下水の流れに乗って井戸-1に到達し、汚染の兆候が現われた時期を検出下限値(0.02mg/L)の濃度を示す時期とする。図-13に井戸-1の六価クロム濃度の動きを示したが、この濃度推移から遡って推定すると、その時期は6月23~25日頃と思われる。この地区の推定流速は既に述べたように30~50m/日、汚染源から井戸-1までの距離は310mである。この流速と距離から計算すると、処理槽から漏出した最初のサージェント溶液が滞水層に達した時期は6月15~20日頃ではないかと推測される。

処理槽を囲む漏出防止ピットから漏出が始まった時期については判然としない。しかし、処理槽を囲っているピットの掘削除去を行っていく中で、平成7年に追加設置したピットと排水路の間隙から地下に薬液が漏出した痕跡が見つかっている。この時の工事が不十分であった可能性もあり、漏

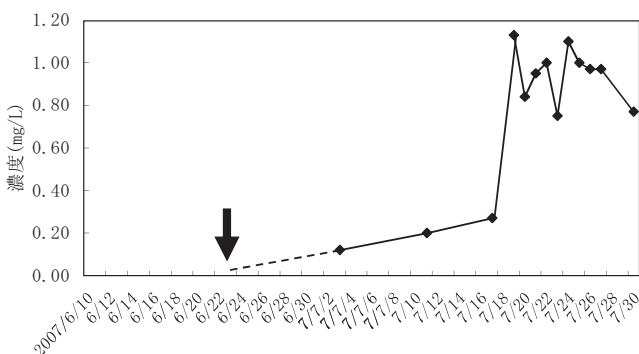


図-13 井戸-1が六価クロムの検出下限値(0.02mg/L)を示した推定時期

出そのものはかなり以前から始まっていたのではないかと考えられた。

要 約

平成19年7月3日に高知県内のA市B地区で六価クロムによる広範囲な汚染事故が発見された。以下に取り組み経緯と得られた結果について概要を述べる。

1. 汚染源は地区内にあるメッキ工場の有害物質漏出防止ピットの亀裂が原因と判断され、平成21年9月までに汚染源周辺211井戸が調査された。六価クロムが検出されたのは52井戸で、環境基準値を超えた井戸は33井戸、最高濃度は1.13mg/Lであった。また汚染の範囲は汚染源から南西方向に向かって延長約1200m、幅120~200mと推定された。
2. メッキ工場敷地内における汚染範囲は処理槽を中心に北東方向に約4m、南西方向に約23m、幅は約8m、深さは7m程度と推定され、平成19年9月からコンサルタント会社によって汚染土壌の除去、揚水井戸の設置、通水洗浄等の対策がとられた。また平成19年8月から周辺10井戸がモニタリング井戸として選定されるとともに観測井が設置され、共に1回/週の定期的な調査が行われた。
3. 汚染源対策が進むに従ってモニタリング井戸や観測井の六価クロム濃度はしだいに低下し、モニタリング井戸は平成20年8月から、観測井は11月から環境基準値(0.05mg/L)以下となった。しかし平成21年9月現在でもわずかに検出されており、モニタリング調査は継続して行われている。
4. 地区内の地下水は四国山地から県中央部を流れる一級河川D川の伏流水で、井戸は5~10m前後の浅層井戸が多く、その流速はおよそ30~50m/日と推定された。また地下水は北東から南西方向に流下しており、六価クロムはこの流れに乗って下流に拡散したものと考えられた。
5. 地区内の地下水は平均pH6.6、電気伝導度176 μ S/cmで、既に報告されているD川流域や同じ地層の地下水と比べると電気伝導度がやや高い傾向が認められた。また本事例ではpHや電気伝導度に対する六価クロムの影響は認められなかった。

謝 辞

本調査においては多くの関係各部署や環境研究センターの水質担当諸氏、民間の方々から多くの御協力を得た。ここに記して感謝いたします。

文 献

- 1) 山本 莊毅：建築実務に役立つ地下水の話, p 214, 1994, 建築技術
- 2) 桑尾 房子：高知県における地下水質, 高知県環境研究センター所報, 20, 51-66, 2003
- 3) 金田 妙子ら：香南地域における地下水水質の類型化, 高知県衛生研究所報, 49, 55-60, 2003
- 4) 斉藤 亨治：日本の扇状地, p266, 1998, 古今書院
- 5) 5万分の1地形図(高知), 2000, 国土地理院
- 6) 高橋 一三：土壌の汚染と浄化作用, 257-260, 1974, 産業用水調査会
- 7) 山本 博ら：土器川流域における湧水利用の変化, 日本土壌肥科学雑誌, 79, 478-485, 2008
- 8) 佐々木実・鯉坂富夫・岡本 昭：那須野原の地質と地下水, 地学雑誌, 67, 59-73, 1958
- 9) 山中 勤ら：栃木県那須扇状地における地下水と河川水の交流, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 4, 51-59, 2003
- 10) 日本地下水学会・井田 徹治：見えない巨大水脈 地下水の科学, p106, 2009, 講談社
- 11) 佐藤賢司・稲生義彦・楡井 久：地下水汚染の現場から, URBAN KUBOTA, 27, 58-60, 1988
- 12) 日本地下水学界：地下水・土壌汚染の基礎から応用, 131-132, 2006, 理工図書
- 13) 日本化学会編：季刊化学総説 土の化学：p 73, 1989, 学会出版センター
- 14) 古川 真ら：6価クロムの汚泥, 土壌への吸着後の存在形態, 第39回日本水環境学会年会講演集, p605, 2005
- 15) 大橋優子ら：各地の土壌におけるヒ素, セレン, クロムの吸着保持量とその共存物質影響, 第42回日本水環境学会年会講演集, p364, 2008

付表-1 六価クロム対策連絡会議

開催時期	主な協議・報告事項	決定事項等	参加機関
2007/7/19	<ul style="list-style-type: none"> 農作物等への影響 記者発表 汚染源の特定と今後の調査計画 	<ul style="list-style-type: none"> 公表は7月20日 	清流・環境課、食品衛生課、環境研究センター 衛生研究所、福祉保健所、市環境課
2007/7/23	<ul style="list-style-type: none"> 汚染範囲と汚染源の特定 汚染井戸の継続調査 観測井の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染源の特定 観測井の深さは10m 	//
2007/7/30	<ul style="list-style-type: none"> 記者発表 汚染範囲と今後の調査計画 汚染源に対する指導 基準値超過井戸への対応 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染範囲の特定 公表は7月31日 	清流・環境課、食品衛生課、廃棄物処理推進課 環境研究センター、衛生研究所、福祉保健所、 市環境課、上下水道局
2007/8/7	<ul style="list-style-type: none"> 基準値超過井戸への対応 住民からの依頼分析対応 モニタリング井戸の選定と今後の調査計画 	<ul style="list-style-type: none"> モニタリング頻度は1回/週、観測井を含む11井戸を選定 研究機関が共同で調査 	//
2007/8/30	<ul style="list-style-type: none"> 汚染源の対策状況 モニタリングの状況 基準値超過井戸への対応 	//	//
2007/10/19	<ul style="list-style-type: none"> アドバイザー会議の結果 一斉分析への対応 六価クロム対策委員会との連携 	<ul style="list-style-type: none"> 一斉分析は10月29日と11月5日に実施 	清流・環境課、食品衛生課、環境研究センター 衛生研究所、福祉保健所、市環境課
2007/11/27	<ul style="list-style-type: none"> アドバイザー会議の結果 一斉分析結果と今後の調査計画 地元対応の状況 	//	清流・環境課、食品衛生課、廃棄物処理推進課 環境研究センター、衛生研究所、福祉保健所 市環境課
2008/2/21	<ul style="list-style-type: none"> アドバイザー会議の結果 汚染源に対する法的措置 *土壌汚染対策法による指定区域に指定（高知県公報、2008.2.19） 雨期の対応 	//	清流・環境課、食品衛生課、廃棄物処理推進課 環境研究センター、衛生研究所、福祉保健所 市環境課
2008/3/27	<ul style="list-style-type: none"> 汚染源対策の進捗状況 雨期の対応 地元説明会 	//	//
2008/7/4	<ul style="list-style-type: none"> 汚染源対策の進捗状況 一斉分析への対応 六価クロム対策委員会の動き 	<ul style="list-style-type: none"> 一斉分析は7日と14日に実施 	環境対策課、環境研究センター、衛生研究所 市環境課
2009/1/26	<ul style="list-style-type: none"> モニタリング頻度の見直し 最近の地下水分析結果 汚染源対策の進捗状況 	<ul style="list-style-type: none"> 2月からモニタリング頻度は1回/月に変更 調査は環境研究センターが継続 	//
2009/7/23	<ul style="list-style-type: none"> 最近の地下水分析結果 汚染源対策の進捗状況 今後の対応 	<ul style="list-style-type: none"> モニタリング頻度は1回/月を継続 	//

注) 2008年4月1日から清流・環境課は環境対策課に組織変更

付表-2 地下水汚染対策アドバイザー会議

開催時期	主な協議・報告事項	意見・アドバイス等	参加機関
2007/9/14	・工場敷地内のボーリング調査結果 ・今後の汚染源対策 ・地区内の汚染状況	・汚染拡大への対応	清流・環境課、環境研究センター、市環境課、応用地質（株）、メッキ工場、アドバイザー3名
2007/10/18	・敷地内の土壌汚染状況 ・応急対策の工法 ・今後の汚染源対策	・土質と掘削量、補強工事	清流・環境課、環境研究センター、応用地質（株）、アドバイザー3名
2007/11/19	・応急及び恒久対策の工法 ・土壌還元処理法 ・地区内の汚染状況 ・現地見学	・揚水井増設の必要性	清流・環境課、環境研究センター、市環境課、応用地質（株）、メッキ工場、アドバイザー3名
2008/2/6	・土壌還元処理法 ・今後の汚染源対策 ・最近の地下水水質	・通水洗浄法を検討	清流・環境課、環境研究センター、応用地質（株）、アドバイザー3名
2008/9/10	・最近の地下水水質 ・汚染源対策の進捗状況 ・モニタリング頻度	・モニタリング頻度は当面は現状維持	環境対策課、環境研究センター、応用地質（株）、アドバイザー3名

注) 2008年4月1日から清流・環境課は環境対策課に組織変更

付表-3 地元との協議

時期	主な協議・報告事項	出席機関	備考
2007/7/20	・汚染状況の報告と今後の取り組み ・チラシ配布について	市環境課、上下水道局	地元自治会に六価クロム対策委員会が結成される。
2007/8/17	・経過報告と汚染源への対応 ・上水道への切り替えについて	県清流・環境課、市環境課	
2007/9/10	・汚染事故に対する要望書について	県清流・環境課、市環境課 メッキ工場	県・市・メッキ工場に要望書が提出される。
2007/10/10	・上水道への切り替えの費用負担について ・水質検査の継続について	メッキ工場、市環境課	
2007/10/15	・経過報告と汚染源対策	メッキ工場、応用地質（株） 市環境課	
2007/10/23	・一斉分析について	市環境課	10月29日と11月5日に実施
2007/11/14	・上水道料金の負担について ・基準値以下の井戸への対応 ・覚書について	市環境課	11月30日に市長立会いで、メッキ工場と地元自治会の間で覚書が取り交わされる。
2007/12/6	・経過報告と今後の取り組み	県清流・環境課、市環境課、メッキ工場、応用地質（株）	
2008/4/30	・経過報告と今後の取り組み ・雨期の対応と一斉分析について	県環境対策課、市環境課、メッキ工場、応用地質（株）	7月7日、14日に一斉分析を実施
2008/12/25	・経過報告と今後の取り組み ・モニタリング頻度について	県環境対策課、市環境課	
2009/1/12	・経過報告と今後の取り組み ・モニタリング頻度について	県環境対策課、市環境課、メッキ工場、応用地質（株）	2月からモニタリング頻度を1回/月に変更

注) 2008年4月1日から清流・環境課は環境対策課に組織変更

付表-4 調査井戸の使用状況、井戸の深さ、六価クロムの最高濃度

井戸 NO	使用状況	井戸深 (m)	使用 人数	最高濃度 (mg/L)
1	上水道と併用		3	1.13
2	上水道と併用			<0.02
3	上水道と併用			<0.02
4	上水道と併用			<0.02
5				<0.02
6	上水道と併用			<0.02
7				<0.02
8	農業用水			<0.02
9	上水道と併用			0.88
10	農業用水			<0.02
11	農業用水			<0.02
12	上水道と併用			<0.02
13	飲用	11.5		<0.02
14	飲用	10~12	2	<0.02
15	飲用			0.17
16	上水道と併用			<0.02
17	上水道と併用			<0.02
18	飲用		2	0.07
19	上水道と併用			<0.02
20	上水道と併用	7		<0.02
21	飲用	20		<0.02
22	水源地			<0.02
23	プールで使用			<0.02
24	水源地			<0.02
25	飲用	15	4	<0.02
26	飲用		2	<0.02
27	農業用水	10		<0.02
28	飲用	23		0.03
29				<0.02
30	上水道と併用			0.11
31	飲用	5~6		<0.02
32	飲用	13		<0.02
33	飲用			0.11
34	飲用		2	0.24
35	上水道と併用		3	<0.02
36	飲用		2~3	<0.02
37	飲用	10	2	<0.02
38	飲用			<0.02
39	飲用			0.02
40	飲用			0.18
41	飲用	10		0.22
42	飲用			0.13
43				<0.02
44	飲用			0.08
45	飲用		2	0.04
46	飲用	18	6~7	<0.02
47	飲用	10	2	<0.02(痕)
48	飲用	18	7	<0.02
49	飲用	30	2	0.35
50	飲用		2	0.27
51	飲用			<0.02
52	飲用			<0.02
53	飲用	4		<0.02
54	飲用	5		<0.02
55	飲用	5		<0.02
56	飲用	10		<0.02
57	飲用	20		<0.02
58	飲用			<0.02
59	上水道と併用		3	0.07
60	飲用	6	3	0.11
61	飲用	5	2	<0.02
62	上水道と併用	10	5	<0.02
63	飲用		6	<0.02
64	飲用			<0.02
65	飲用	22	1	<0.02
66	飲用			0.02
67	飲用	13	2	0.05
68	上水道と併用		2	<0.02
69	飲用		1	<0.02
70	飲用	12		<0.02
71	飲用	13	15	<0.02
72	飲用	11	2	<0.02
73	上水道と併用		5	<0.02
74	飲用	8	5	<0.02
75	飲用	16~18	40	<0.02
76	飲用		1	<0.02(痕)
77	飲用			<0.02
78	飲用		1	0.03
79	飲用		2	<0.02
80	飲用		4	<0.02
80	飲用		4	<0.02
81	飲用		2	<0.02
82	飲用	15	3	<0.02(痕)
83	上水道と併用		2	<0.02
84	飲用		4~5	<0.02
85	飲用		5	<0.02
86	飲用		5	0.08
87	飲用	8	1	<0.02
88	飲用	8		0.09
89	上水道と併用		6	<0.02
90	上水道と併用		2	<0.02
91	飲用	8	4	<0.02
92	飲用		5	0.07
93	飲用		6	<0.02
94	飲用			0.07
95	飲用			0.06
96	上水道と併用			0.10
97	飲用		3	0.17
98	飲用			0.04
99	上水道と併用			<0.02
100	飲用	14	2	<0.02
101	飲用	8		<0.02
102	飲用			<0.02
103	飲用		3	<0.02
104	上水道と併用	15	5	<0.02
105	上水道と併用	10	2	0.17
106	飲用		3	<0.02
107	飲用	10~15	5	<0.02

井戸 NO	使用状況	井戸深 (m)	使用 人数	最高濃度 (mg/L)
108	上水道と併用	4~5	2	<0.02
109	飲用		3	<0.02
110	飲用		3	<0.02
111	飲用		5	0.06
112	飲用			0.04
113	飲用		4	<0.02
114	飲用	10	2	<0.02
115	上水道と併用	15	3	<0.02
116	上水道と併用	7	2	<0.02
117	飲用	21	8	0.03
118	飲用		4	<0.02
119	上水道と併用		3	<0.02
120	飲用			<0.02
121	飲用	3		<0.02
122	飲用	8	4	<0.02
123	飲用			<0.02
124	上水道と併用	10	3	<0.02
125	飲用	6~7	2	<0.02
126	飲用		1	0.02
127	飲用			0.14
128	飲用	8~10		0.07
129	飲用		3	<0.02(痕)
130	上水道と併用	23	4	0.06
131	飲用	10	5	<0.02
132	飲用	15	5	<0.02
133	飲用	4	6	<0.02
134	上水道と併用	~10	3	<0.02
135	飲用	16~17		0.02
136	飲用	20		0.08
137	上水道と併用			0.15
138	飲用	30	2	0.04
139	飲用		1	<0.02
140	飲用		6	<0.02
141	飲用		5	<0.02
142	飲用		2	<0.02
143	水源地			<0.02
144	水源地			<0.02
145	飲用		1	<0.02
146	飲用		10	<0.02
147	上水道と併用			<0.02
148	上水道と併用		5	<0.02
149	飲用		3	<0.02
150	上水道と併用	20	5	<0.02
151	飲用		3	0.03
152	飲用		1	0.03
153	飲用	12	2	<0.02
154	飲用		14	<0.02
155	飲用	5~7	3	<0.02
156	飲用	5~7	8	<0.02
157	飲用	5~7	10	<0.02
158	飲用	15~18	3	<0.02
159	飲用		4	<0.02
160	飲用	7	5	<0.02

井戸 NO	使用状況	井戸深 (m)	使用 人数	最高濃度 (mg/L)
161	飲用	21	4~5	0.05
162	飲用		1	<0.02
163	飲用		3	<0.02
164	飲用	10	4	<0.02
165	飲用		1	<0.02
166	飲用		5	<0.02
167	飲用		2	<0.02
168	飲用	13	2	<0.02(痕)
169	飲用		2	<0.02
170	飲用	14		<0.02
171	飲用		7	<0.02
172	上水道と併用	12	5	<0.02
173	飲用		1~10	<0.02
174	飲用			<0.02
175	飲用	20		<0.02
176	飲用	13	1	<0.02
177	飲用	15		<0.02
178	上水道と併用	3	2	<0.02
179	飲用	14	4	<0.02
180	飲用	8	1	<0.02
181	飲用	8	4	<0.02
182	農業用水	7		<0.02
183	飲用			<0.02
184	上水道と併用		6	<0.02
185	飲用	18	6	<0.02
186	飲用		1	<0.02
187	飲用		3	<0.02
188	飲用		3	<0.02
189	飲用		3	<0.02
190		5~6		<0.02
191	飲用			<0.02
192	飲用			<0.02
193	上水道と併用			<0.02
194				<0.02
195	飲用	8~10		<0.02
196	飲用			<0.02
197	飲用	12		<0.02
198	飲用			0.36
199	飲用	7		<0.02
200	飲用	6~8		<0.02
201	飲用	6		<0.02
202	飲用			<0.02
203		4		<0.02
204	飲用	13		<0.02
205	飲用	8		<0.02
206	飲用		2	<0.02
207	飲用・生活用			0.03
208	飲用・生活用			<0.02
209	飲用			<0.02
210	生活用		3	<0.02
211	観測井(上層)	3~5		0.26
	"(中層)	5~8		0.18
	"(下層)	8~10		0.12

注) はモニタリング井戸、 は補足調査井戸で、ゴシックは六価クロムが検出された井戸である。