

水銀実態調査の進捗状況

1 経緯

平成 27 年 8 月以降、浸出水処理施設の原水から環境基準値(0.0005 mg/L)を超える総水銀が断続的に検出されたことから、平成 28 年 10 月に揚水井戸(28 本)、さらに同年 12 月から平成 29 年 3 月にかけて現場内観測井戸(21 本)を追加しての総水銀濃度調査を行ったところ、第一帯水層対象の井戸 4 地点、第二帯水層対象の井戸 12 地点で水銀が検出された(図 1)。

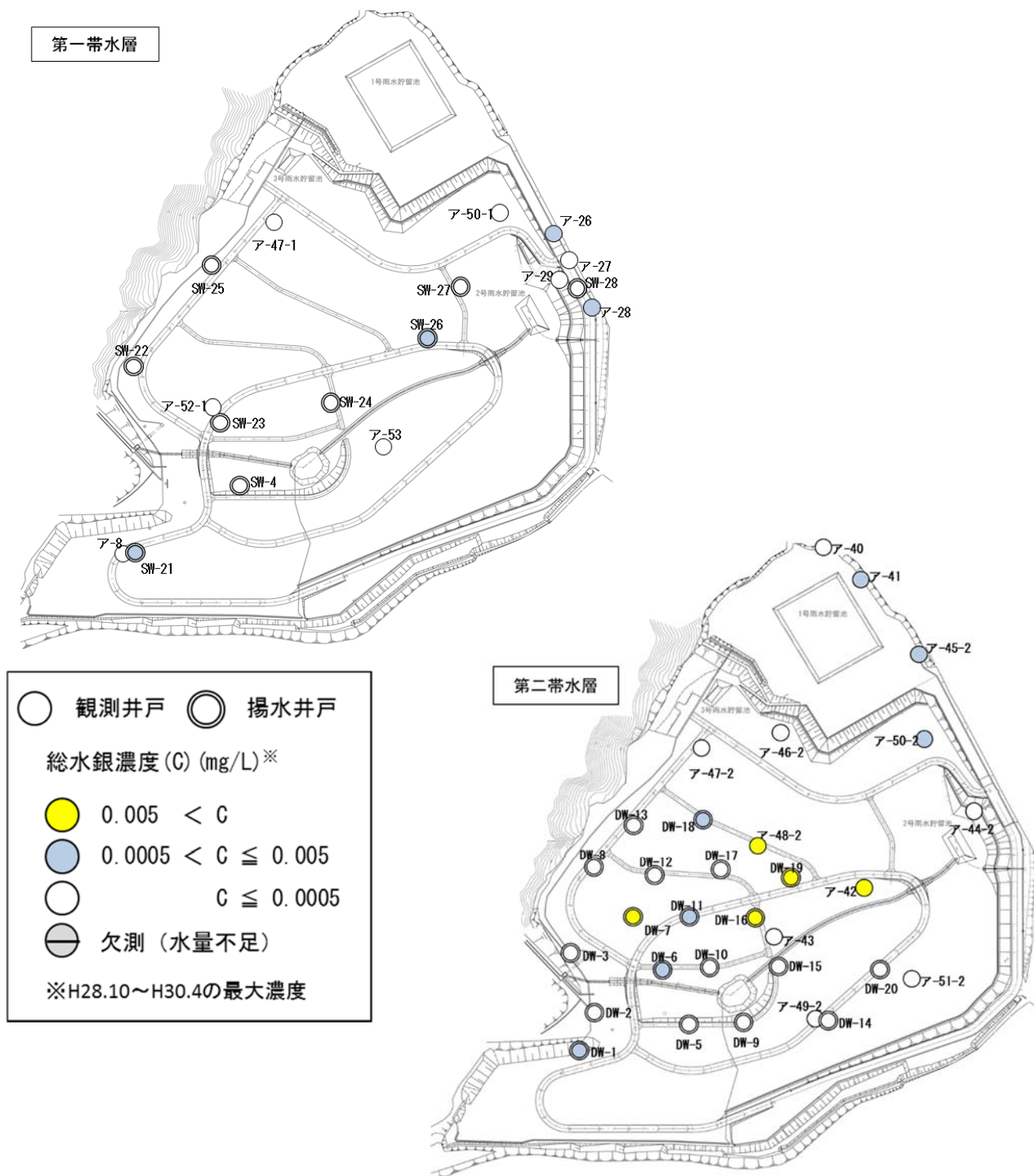


図 1 調査地点及び調査結果(最大値)

表1 揚水井戸の総水銀濃度の推移

(環境基準値:0.0005 mg/L)

区分	エリア	揚水井戸	H28.10	H28.12	H29.1	H29.2	H29.3	H30.4
第一帯水層	下流部	SW-4	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		SW-21	<0.0005	0.0011	0.0021	0.0026	0.0021	0.0027
		SW-23	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	中央部	SW-24	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		SW-26	0.0006	<0.0005	<0.0005	0.0010	0.0025	<0.0005
	北部	SW-22	<0.0005	—	—	—	—	—
		SW-25	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		SW-27	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	県境部	SW-28	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	第二帯水層	下流部	DW-1	<0.0005	<0.0005	0.0020	<0.0005	0.0007
DW-2			<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
DW-3			<0.0005	<0.0005	—	<0.0005	<0.0005	—
DW-6			0.0006	0.0006	—	—	—	—
DW-7			0.012	0.0083	0.011	0.017	0.016	0.0039
DW-10			<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
DW-11			0.0031	0.0006	0.0008	0.0010	0.0010	0.0042
中央部		DW-15	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		DW-16	0.0054	0.0020	—	—	0.052	0.0052
		DW-19	0.063	0.036	0.046	0.036	0.037	—
北部		DW-8	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		DW-12	—	—	—	—	—	—
		DW-13	<0.0005	—	—	—	—	—
		DW-17	<0.0005	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		DW-18	0.0013	0.0015	0.0019	0.0018	0.0019	0.0012
南部		DW-5	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		DW-9	—	<0.0005	—	—	—	—
		DW-14	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		DW-20	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
水処理施設原水濃度			0.0005	0.0006	0.0011	0.0010	0.0009	0.0008*

*:5月分析結果

表2 観測井戸の総水銀濃度の推移

(環境基準値:0.0005 mg/L)

区分	エリア	観測井戸	H28.12	H29.1	H29.2	H29.3	H30.4
第一帯水層	下流部	ア-8	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-52-1	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	中央部	ア-53	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	北部	ア-47-1	<0.0005	<0.0005	—	<0.0005	—
	県境部 ^{※3}	ア-26	0.0008	<0.0005	0.0017	0.0009	<0.0005
		ア-27	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-28	0.0008	0.0014	0.0011	0.0010	0.0021
		ア-29	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-50-1	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	第二帯水層	中央部	ア-42	0.0012	0.0040	0.0045	0.0053
ア-43			<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
北部		ア-46-2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-47-2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-48-2	<0.0005	<0.0005	0.0007	0.013	0.0005
南部		ア-49-2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-51-2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
県境部		ア-40	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
		ア-41	0.0010	0.0016	0.0006	<0.0005	0.0012
		ア-44-2	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—
	ア-45-2	<0.0005	0.0015	0.0017	0.0009	<0.0005	
	ア-50-2		0.0013	0.0011	0.0038	<0.0005	

この水銀に関して、以下の調査を実施した。

- ・ 土壌中の深度別溶出量及び含有量分析
- ・ 地下水、土壌中及び廃棄物中の形態別分析及び同位体分析調査
- ・ 周辺環境への影響がないことを確認するための水質調査

(場外の河川及び地下水、浸出水処理施設の原水及び放流水)

このうち、周辺環境の水質調査の結果(測定地点:図2)、総水銀は検出されず、周辺環境への影響は認められなかった。そのほか、浸出水処理施設の原水及び放流水の水質調査を行った結果、原水からは環境基準値を超える総水銀が検出されたが、放流水からは検出されなかった。(第59回の協議会で報告済)

その他、岩手県の調査結果の確認及び地質の専門家からの意見聴取を行った。

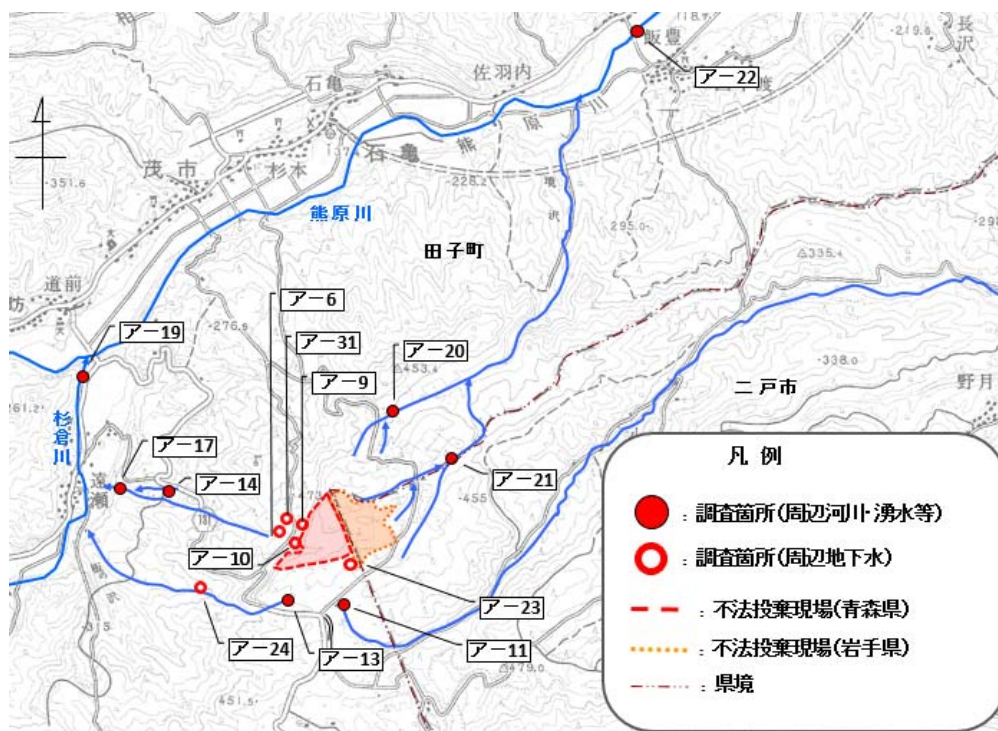


図2 平成29年周辺環境における調査地点

※1 形態別分析について

水銀は自然界において金属水銀(Hg)、硫化水銀(HgS)、塩化水銀(HgCl₂)等の種々の化学形態で存在している。通常の実験では総水銀として濃度を測定するが、各形態の濃度を測定することで、各形態の濃度比が得られ、それをもとに由来を推察することができる。また、化学形態により毒性が異なるため、健康への影響の度合いを推察するための情報も得られる。

※2 同位体分析について

自然界に存在する元素には、同じ元素でも質量の異なるもの(同位体)が存在しており、産出地域等の要因によりわずかに差異が生じるため、試料に含まれる水銀の同位体比を比較することで由来を推察することができる。

2 土壌中の深度別溶出量及び含有量分析結果

集水井戸(CW-1~3)のボーリングコアについて、水銀の溶出量及び含有量分析を実施した。その結果、地表から第一帯水層にあたる層までの間では全ての集水井戸において水銀は検出されなかったが、第一帯水層より深い部分に存在するローム層及び第二帯水層(凝灰角礫岩層)では水銀が検出された。

表3 土壌中の深度別溶出量及び含有量(集水井戸)

採取位置			水銀	
地点	上端深度(m)	下端深度(m)	溶出量(mg/L)	含有量(mg/kg)
CW-1 (県境部)	0.8	1.0	<0.0005	<0.05
	1.8	2.0	<0.0005	<0.05
	2.8	3.0	<0.0005	<0.05
	3.8	4.0	<0.0005	0.37
	4.8	5.0	<0.0005	0.26
	5.8	6.0	<0.0005	0.08
	6.3	6.5	<0.0005	1.7
	6.8	7.0	<0.0005	0.27
	7.8	8.0	<0.0005	0.08
CW-2 (中央部)	0.8	1.0	<0.0005	<0.05
	1.8	2.0	<0.0005	<0.05
	2.8	3.0	<0.0005	<0.05
	3.8	4.0	<0.0005	<0.05
	4.3	4.5	<0.0005	<0.05
	4.8	5.0	<0.0005	0.13
	5.8	6.0	<0.0005	<0.05
	6.8	7.0	<0.0005	0.10
	7.8	8.0	<0.0005	<0.05
	8.8	9.0	<0.0005	0.05
	9.8	10.0	<0.0005	<0.05
	10.8	11.0	<0.0005	<0.05
	11.8	12.0	<0.0005	<0.05
	12.2	12.4	<0.0005	<0.05
	12.8	13.0	<0.0005	<0.05
	13.8	14.0	<0.0005	0.08
	14.8	15.0	0.0007	0.18
15.8	16.0	<0.0005	<0.05	
16.8	17.0	<0.0005	<0.05	
CW-3 (下流部)	0.8	1.0	<0.0005	<0.05
	1.8	2.0	<0.0005	<0.05
	2.8	3.0	<0.0005	<0.05
	3.1	3.3	<0.0005	<0.05
	3.8	4.0	<0.0005	<0.05
	4.8	5.0	<0.0005	<0.05
	5.8	6.0	<0.0005	<0.05
	6.2	6.4	<0.0005	<0.05
	6.8	7.0	<0.0005	<0.05
	7.8	8.0	<0.0005	0.24
	8.8	9.0	<0.0005	0.09
	9.8	10.0	<0.0005	0.30
	10.8	11.0	<0.0005	0.09
	11.8	12.0	<0.0005	<0.05
	12.8	13.0	<0.0005	<0.05
13.8	14.0	<0.0005	<0.05	
14.8	15.0	<0.0005	<0.05	
15.8	16.0	<0.0005	<0.05	

第一帯水層
 ローム層
 第二帯水層(凝灰角礫岩層)
 溶出量環境基準値0.0005mg/L超過

3 形態別分析及び同位体分析の調査結果

(1) 形態別分析結果

水銀が検出された井戸の地下水、水銀含有廃棄物及び水銀含有土壌試料の形態別分析を行った。

① 水質調査

各地点とも、水銀の形態が同じイオン状であり、帯水層の違いや井戸の位置による差異は確認されなかった。

② 土壌及び廃棄物調査

土壌・廃棄物共に不溶解性水銀の割合が非常に高い傾向にあり両者に差異は認められなかった。

(2) 同位体分析結果

地下水及び廃棄物試料について同位体分析を行った結果、地下水と廃棄物試料の同位体比に差異は認められなかった。

4 地質関係の有識者の意見

当県の形態別分析及び同位体分析の調査結果からは、当該水銀の由来を推定するまでは至らなかったものの、現場内の総水銀調査結果、周辺環境等の水質調査、土壌の深度別溶出量・含有量調査、形態別調査及び同位体分析の結果等を提供のうえ、2名の地質関係の有識者から意見聴取したところ、当該水銀は廃棄物由来とは考えにくいとの意見であった。

(1) 東京大学大学院理学系研究科 板井准教授

- ・廃棄物由来とした場合、途中（平成 27 年 8 月以降）から水銀が検出されるようになったことは理屈に合わないのではないかと。
- ・土壌中に元々水銀が含まれており、井戸を掘ったことにより、地下水がそれに接触したため、一部が溶出したと考えた方が合理的である。

(2) 八戸工業大学 熊谷名誉教授

- ・地山確認は住民とともに行っており、廃棄物が全て無いことを確認している。
- ・地下水中の水銀は拡散しにくいという一般的な性質や土中の一部の深さにしか存在しないという状況を考えると廃棄物由来とは考えにくい。
- ・ただ、周辺環境に影響がないことは確認しておくべき。

5 岩手県の調査状況

岩手県側の不法投棄現場においても青森県側と同様に一部の地下水から環境基準値を超える水銀が検出されたため、その水銀の由来を特定するための調査が行われており、9 月 8 日に開催された原状回復対策協議会において、調査結果が以下のとおり報告された。

- ・不法投棄場所から 150m～200m 離れた事業場外でも水銀を含む土壌が見つかった。
- ・場内・場外ともに水銀を 0.3mg/kg（土壌中における一般的な水銀全含有量）以上含む地層は、地盤の深部（主に 10m 以深）のローム層と凝灰角礫岩層で確認された。
- ・環境省の土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第 2 版）によると、地下水中の水銀は 100 年間でも 80m ほどしか移動しないとされていることを考慮すると、事業場内で検出される水銀のほとんどは自然由来と考えられる。
- ・一部の地区では水銀濃度が高く、井戸水からも検出されているため、引き続き調査を行う。

6 検出された水銀の由来について

以下の状況から、本県現場内で確認された水銀は、廃棄物由来とは考えにくく、自然由来の可能性が高いと考える。

- ・一般的に地下水中の水銀は移動しにくいとの知見があるなか、現場内の土中の水銀は存在場所が均一ではなく、表層には無く、第一帯水層以深のローム層と凝灰角礫岩層に存在すること（水銀は土壌に吸着されやすいので、廃棄物由来であれば、表層でもある程度水銀吸着され、含有されていると考えられる）
- ・地質関係の専門家の意見から、廃棄物由来とは考えにくいとのこと
- ・岩手県の調査結果でも、県境不法投棄現場内と同じく、現場外のローム層と凝灰角礫岩層の土壌中で水銀が確認されたこと。

7 今後の方針

今後、岩手県の調査の状況を確認し、その結果を踏まえて協議会の専門家委員へ相談しながら、当県の結論をとりまとめることとする。

また、引き続き、浸出水処理施設からの放流水についても水銀の調査を行い、周辺環境に影響がないことを確認していく。

[参考]

(1) 形態別分析結果

① 地下水

(単位: mg/L)

地点	井戸	対象層	エリア	水銀濃度			
				平成 29 年 3 月	総水銀	溶存態水銀	イオン状水銀
ア-29	観測井	第一帯水層	県境部	0.009	0.0013	<0.0005	0.0013
SW-21	揚水井		下流部	0.0021	<0.0005	<0.0005	<0.0005
SW-26	揚水井		中央部	0.0025	<0.0005	<0.0005	<0.0005
ア-50-2	観測井	第二帯水層	県境部	-	0.0007	<0.0005	0.0007
DW-1	揚水井		下流部	0.007	<0.0005	<0.0005	<0.0005
DW-7	揚水井		下流部	0.016	0.020	<0.0005	0.020
DW-18	揚水井		北部	0.0019	0.0009	<0.0005	0.0009
DW-19	揚水井		中央部	0.037	0.071	0.0007	0.070

③ 土壌及び廃棄物

(単位: mg/kg)

地点	深度	対象層	分析結果				
			総水銀	溶解性		不溶解性	
				有機水銀	酸化水銀	硫化水銀	その他の水銀
No14-①	2.0~3.0	廃棄物層 (RDF)	0.35	<0.01	<0.01	0.27	0.07
No14-②	8.1~9.0	廃棄物層 (焼却灰)	0.26	<0.01	<0.01	0.20	0.05
No14-③	12.15~13.0	廃棄物層 (パーク)	0.15	<0.01	<0.01	0.11	0.03
No14-④	15.1~15.5	軽石層	0.05	<0.01	<0.01	0.05	<0.01
No14-⑤	21.5~22.0	凝灰岩	0.08	<0.01	<0.01	0.06	0.01
No14-⑥	26.5~27.0	凝灰角礫岩	0.34	<0.01	<0.01	0.32	0.02
CW-1	3.8~4.0	火山灰質粘性土	0.56	<0.01	<0.01	0.53	0.02
CW-1	6.3~6.5	凝灰角礫岩	0.82	<0.01	<0.01	0.64	0.18
CW-2	4.8~5.0	火山灰質粘性土	0.13	<0.01	0.02	0.11	<0.01
CW-2	14.8~15.0	凝灰角礫岩	0.20	<0.01	<0.01	0.14	0.06
CW-3	9.8~10.0	凝灰角礫岩	0.48	0.05	0.02	0.25	0.14

(2) 同位体分析結果

(単位: ‰)

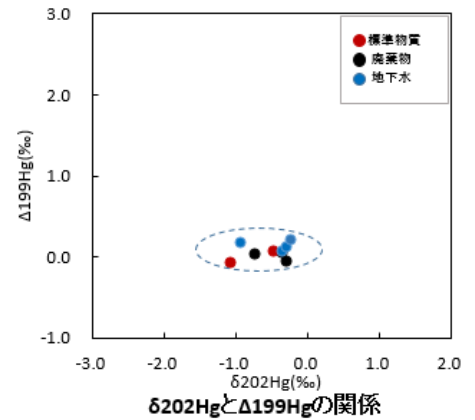
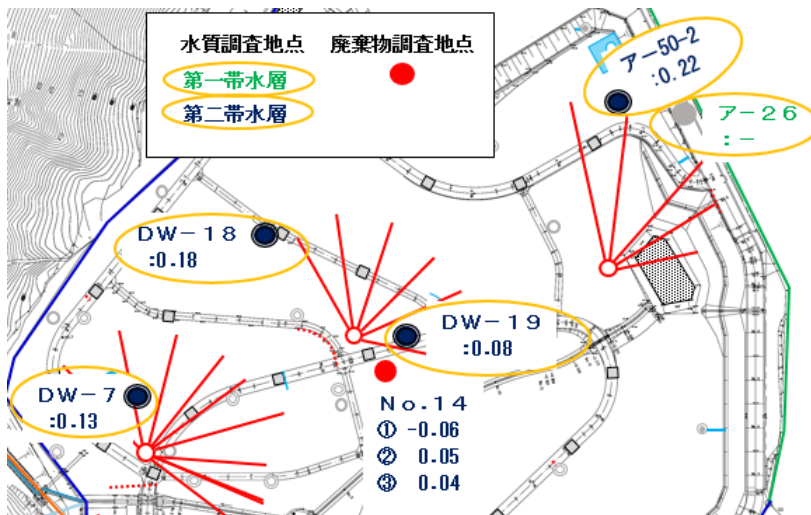
		$\delta^{199}\text{Hg}$	$\delta^{200}\text{Hg}$	$\delta^{201}\text{Hg}$	$\delta^{202}\text{Hg}$	$\delta^{204}\text{Hg}$	$\Delta^{199}\text{Hg}$	$\Delta^{200}\text{Hg}$	$\Delta^{201}\text{Hg}$	$\Delta^{204}\text{Hg}$
試料 廃棄物	No.14-①	-0.13	-0.18	-0.16	-0.29	-0.40	-0.06	-0.04	0.06	0.04
	No.14-②	-0.04	-0.22	-0.27	-0.36	-0.61	0.05	-0.04	0.00	-0.07
	No.14-③	-0.15	-0.38	-0.59	-0.74	-1.12	0.04	-0.01	-0.03	-0.01
試料 水	DW-18	-0.06	-0.42	-0.63	-0.95	-1.45	0.18	0.05	0.08	-0.04
	DW-19	-0.01	-0.17	-0.21	-0.35	-0.54	0.08	0.01	0.06	-0.01
	DW-7	0.05	-0.13	-0.13	-0.31	-0.41	0.13	0.02	0.10	0.05
	ア-26	感度不足								
	ア-50-2	0.16	-0.07	-0.11	-0.23	-0.48	0.22	0.05	0.07	-0.13

(標準試料)

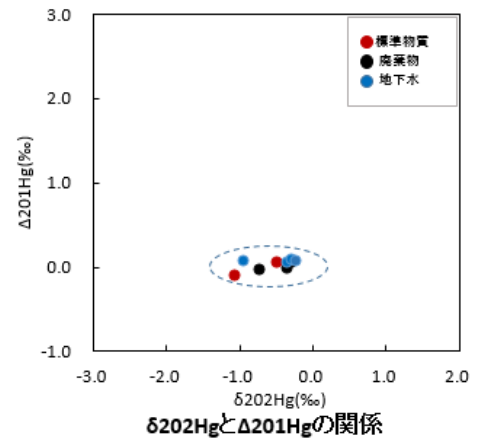
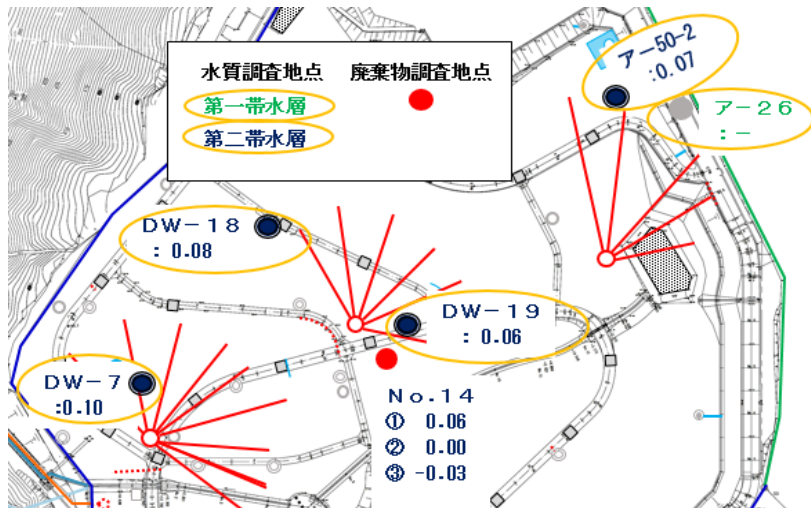
		$\delta^{199}\text{Hg}$	$\delta^{200}\text{Hg}$	$\delta^{201}\text{Hg}$	$\delta^{202}\text{Hg}$	$\delta^{204}\text{Hg}$	$\Delta^{199}\text{Hg}$	$\Delta^{200}\text{Hg}$	$\Delta^{201}\text{Hg}$	$\Delta^{204}\text{Hg}$
BCR CRM 176-R (灰試料)		-0.35	-0.55	-0.90	-1.08	-1.65	-0.07	-0.01	-0.09	-0.03
Sigma Aldrich (水試料)		-0.06	-0.25	-0.30	-0.49	-0.70	0.07	0.00	0.07	0.02

$$\Delta^{***}\text{Hg} = \delta^{***}\text{Hg} - (\beta \times \delta^{202}\text{Hg})$$

***: 水銀の同位体の質量数 β : 平衡定数 $\delta^{199}\text{Hg}/\delta^{202}\text{Hg}=0.252$, $\delta^{200}\text{Hg}/\delta^{202}\text{Hg}=0.502$, $\delta^{201}\text{Hg}/\delta^{202}\text{Hg}=0.752$, $\delta^{204}\text{Hg}/\delta^{202}\text{Hg}=1.492$,



Δ¹⁹⁹Hg 値の比較



δ²⁰¹Hg 値の比較

※水生生態圏中の光化学反応によって $\Delta^{201}\text{Hg}$, $\Delta^{199}\text{Hg}$ に差異が生じることが報告¹⁾されているが、今回の結果、廃棄物試料と水試料の間に差異は認められなかった。

1) Bergquist, B.A. and Bium, J.D.: Mass-dependent and -independent fractionation of Hg isotopes by photoreduction in aquatic systems. Science, 318, 417-420(2007)