

2. 総水銀の汚染の到達距離について

〔第6回専門部会〕

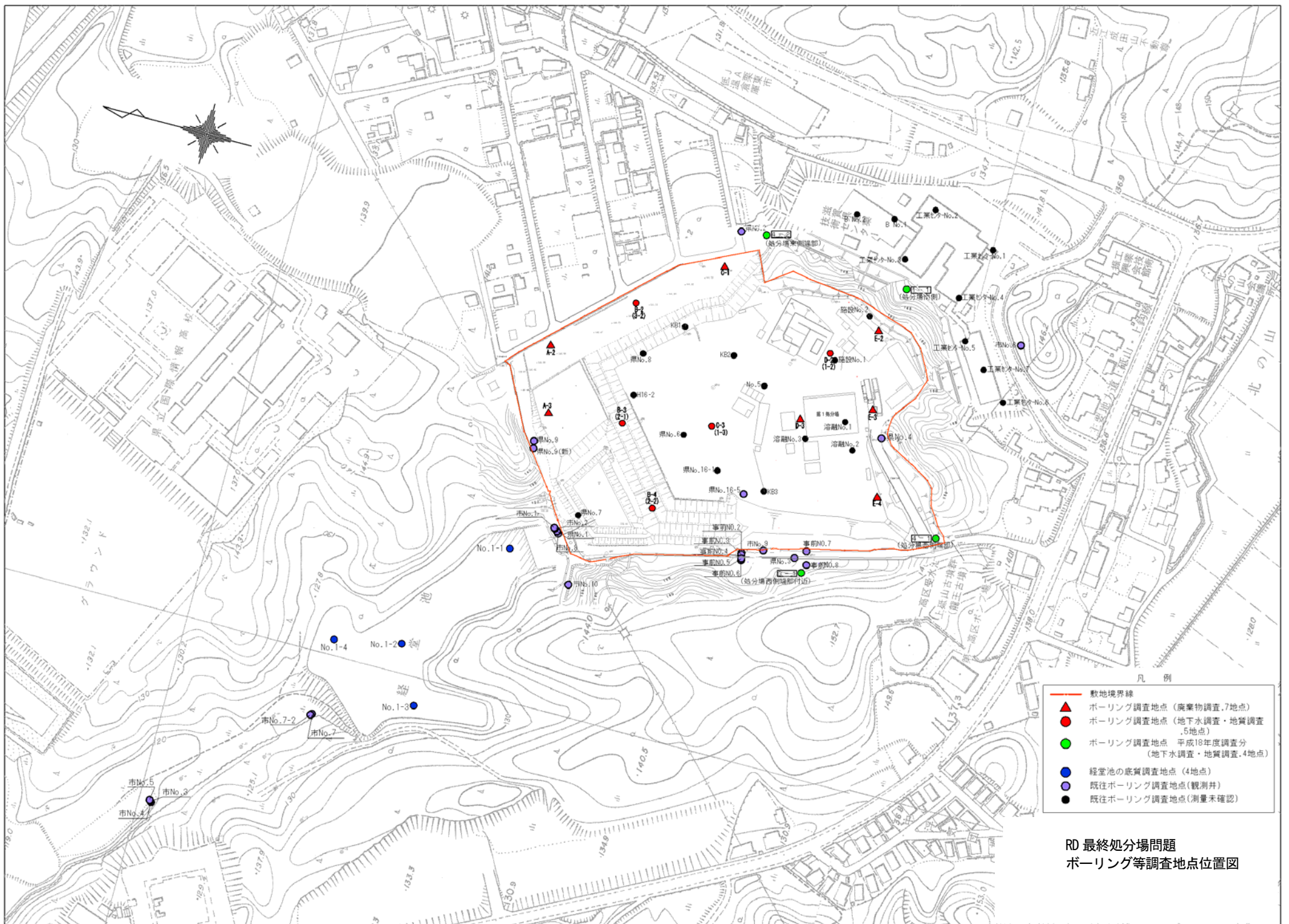
平成19年 10月

滋賀県琵琶湖環境部最終処分場特別対策室

< 目 次 >

資料2. 総水銀の汚染の到達距離について

1. RD 最終処分場問題における総水銀に係る汚染実態	-2-
2. Ks2 帯水層の地下水理	-4-
3. 水銀、メチル水銀、ジメチル水銀の汚染の到達距離について	-5-



1. RD 最終処分場問題における総水銀に係る汚染実態

RD最終処分場問題では、地下水汚染を現に生じている有害物質としてヒ素、総水銀、鉛、ホウ素、シス-1,2-ジクロロエチレン、COD、ダイオキシン類の7物質が挙げられている。

このうち市No.3 と市No.7 で地下水の環境基準を超過している総水銀と、検出が確認されているシス-1,2-ジクロロエチレンについてRD最終処分場との関連を検討した。

1.1 浸透水における総水銀の検出状況

RD 最終処分場内での浸透水の総水銀の検出状況を表 1.1.1 に示す。

全量の測定結果で総水銀の検出が認められ、ND～最大0.0067mg/Lの濃度である。

ろ過後の測定結果は、全て不検出となっている。

表 1.1.1 浸透水における総水銀の検出状況

観測井	総水銀		観測井	総水銀	
	全量	ろ過		全量	ろ過
県No.5	ND(0/1)	ND(0/1)	西側平坦部G	ND(0/1)	ND(0/1)
県No.6	ND(0/5)	ND(0/5)	中央部H16-6	ND(0/2)	ND(0/2)
県No.7	ND(0/1)	ND(0/1)	水処理施設原水	ND(0/6)	ND(0/6)
県No.8	ND(0/19)	ND(0/19)	A-2	0.011(1/1)	ND(0/1)
H16-1	ND(0/1)	ND(0/1)	A-3	0.0012(1/1)	ND(0/1)
H16-2	ND(0/1)	ND(0/1)	B-2(掘進中)	0.016(1/1)	ND(0/1)
H16-5	ND(0/2)	ND(0/2)	B-3(掘進中)	0.014(1/1)	ND(0/1)
旧鴨ヶ池井戸H	ND(0/1)	ND(0/1)	B-4(掘進中)	0.0067(1/1)	ND(0/1)
旧鴨ヶ池井戸J	ND(0/1)	ND(0/1)	C-1	0.0008(1/1)	ND(0/1)
西側平坦部A	ND(0/1)	ND(0/1)	C-3(掘進中)	ND(0/1)	ND(0/1)
西側平坦部C	ND(0/1)	ND(0/1)	D-2(掘進中)	0.0009(1/1)	ND(0/1)
西側平坦部EF	0.0010(1/1)	ND(0/1)	D-3	0.0012(1/1)	ND(0/1)
西側平坦部F	ND(0/1)	ND(0/1)	E-2	0.0028(1/1)	ND(0/1)
検出下限値	0.0005		検出下限値	0.0005	
基準値	検出されないこと(0.0005)		基準値	検出されないこと(0.0005)	

1.2 地下水における総水銀の検出状況

表 1.2.1 に平成 13 年から現在までの地下水中の有害物質濃度を年度毎に整理した。

○処分場内の地下水

処分場内の地下水は全量の測定結果で、県 D-2 (Ks2 と Ks1)、県 C-3 (Ks2)、県 B-2 (Ks3 と Ks2)、県 B-3 (Ks2) および県 B-4 (Ks2 と Ks1) で測定を実施し、県 D-2 の Ks2 帯水層の 0.0026mg/L が検出された。他の地点・帯水層では、全量の測定結果は不検出であった。

ろ過後の測定結果は、全ての地点・帯水層で不検出であった。

○処分場外の地下水

市事前No.2 (Ks2) と市事前No.7 (Ks2) は平成 17 年 9 月に 1 回のみそれぞれ検出され、その濃度はそれぞれ 0.0015mg/L、0.0031mg/L であった。

市No.3 (Ks2) は、平成 13 年から検出され、濃度範囲は 0.0016～0.028mg/L の範囲である。明確な増加または減少傾向は認められない。

市No.7 (Ks2) は、平成 16 年 3 回と平成 19 年に 6 回検出されているが、平成 17 年～平成 18 年までは不検出であった。平成 19 年 3 月以降の測定結果は、市No.3 よりも高い濃度で推移している。

ろ過後の測定結果は市No.3 が 34 回測定のうち 6 回検出(基準超過)され、検出時の濃度範囲は 0.0011～0.0037mg/L であった。

なお、総水銀の汚染が確認されている帯水層は Ks2 帯水層である。

表 1.2.1 総水銀の年度毎の検出状況

位置	帯水層	地点	標高 (m)	スレーブ位置 (G-m)	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	全平均	
全量試験													
処分場内	西側	Ks2層	県D-2	151.21	22.6～29.3	—	—	—	—	—	—	0.0026(1/1)	0.0026(1/1)
			市事前No.2	132.43	8.0～10.0	—	—	—	ND(0/2)	0.00075(1/2)	0(0/3)	0(0/2)	ND(1/9)
			市事前No.7	135.46	10.0～12.0	—	—	—	ND	ND～0.0015	ND	ND	ND～0.0015
			市No.7	122.86	12.9～21.9	—	—	—	0.00093(3/6)	ND(0/6)	ND(0/6)	0.0374(6/7)	0.011(9/25)
経堂池下流	西側	Ks2+Ks1層	県No.3	134.40	18.9～24.4	0.0042(1/1)	0.0048(7/7)	0.0066(6/6)	0.0098(6/6)	0.0047(6/6)	0.0035(6/6)	0.0023(5/5)	0.0053(37/37)
			市No.3	119.44	18.9～24.4	—	0.0028～0.0096	0.0044～0.011	0.0040～0.028	0.0038～0.0070	0.0016～0.0048	0.0011～0.0040	0.0011～0.028
処分場内	西側	Ks2層	県No.3	134.40	9.0～21.0	ND(0/1)	ND(3/5)	ND(3/8)	ND(0/10)	ND(0/10)	ND(1/10)	ND(1/6)	ND(8/50)
			市事前No.2	132.43	8.0～10.0	—	—	—	—	—	—	—	—
			市事前No.7	135.46	10.0～12.0	—	—	—	—	—	—	—	—
			市No.7	122.86	12.9～21.9	—	—	—	—	—	—	ND(0/3)	ND(0/3)
経堂池下流	西側	Ks2+Ks1層	県No.3	134.40	9.0～21.0	—	ND(0/5)	ND(0/8)	ND(0/10)	ND(0/10)	ND(0/10)	ND(0/6)	ND(0/50)
			市No.3	119.44	18.9～24.4	—	0.0005(1/7)	ND(1/5)	0.0008(2/6)	ND(2/6)	ND(0/6)	ND(0/4)	ND(6/34)
ろ過後ろ液の試験													
処分場内	西側	Ks2層	県D-2	151.21	22.6～29.3	—	—	—	—	—	—	ND(0/1)	ND(0/1)
			市事前No.2	132.43	8.0～10.0	—	—	—	—	—	—	—	—
			市事前No.7	135.46	10.0～12.0	—	—	—	—	—	—	—	—
			市No.7	122.86	12.9～21.9	—	—	—	—	—	—	—	—
経堂池下流	西側	Ks2+Ks1層	県No.3	134.40	9.0～21.0	—	ND(0/5)	ND(0/8)	ND(0/10)	ND(0/10)	ND(0/10)	ND(0/6)	ND(0/50)
			市No.3	119.44	18.9～24.4	—	0.0005(1/7)	ND(1/5)	0.0008(2/6)	ND(2/6)	ND(0/6)	ND(0/4)	ND(6/34)

- 1) 上段は平均値と()内にデータ数を示す。下段は検出範囲を示す。
- 2) 〇は基準値の超過を表し、周縁地下水の基準は、「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場にかかる技術上の基準を定める省令 別表第二」に拠る。また、周辺地下水の基準は「地下水の水質汚濁にかかる環境基準について」に拠る。
- 3) 処分場内の地下水は、県D-2 (Ks2 帯水層) でのみ基準超過している。

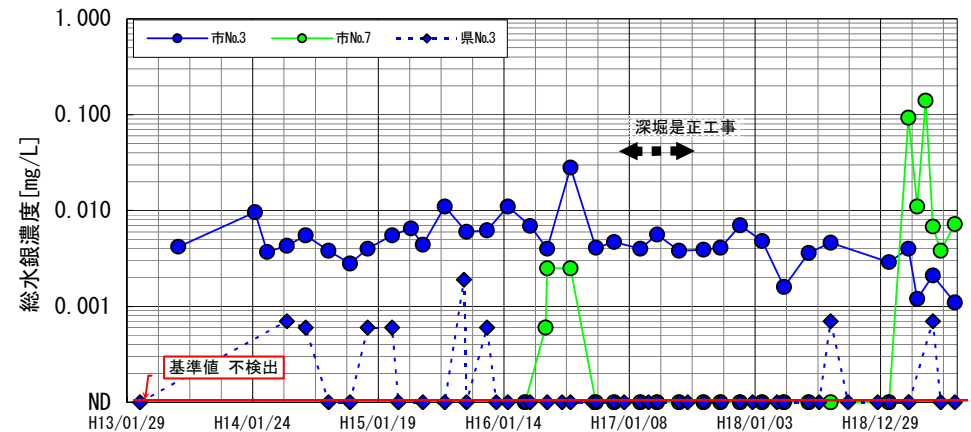


図 1.2.1 総水銀の経年変化

1.3 市No.3 および市No.7 におけるその他有害物質の検出状況

市No.3 は、水銀以外にホウ素、フッ素、シス-1,2-ジクロロエチレン、ベンゼン、ダイオキシン類が検出（基準以下）されたことがある。

市No.7 は、水銀以外に鉛、ホウ素、フッ素、シス-1,2-ジクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ダイオキシン類が検出（基準以下）されたことがある（第5回専門部会資料 9頁）。

市No.3 や市No.7 において基準以下で検出されたこれらの物質のうちシス-1,2-ジクロロエチレンは、「水銀と同じように両井戸で検出されていること」、「自然界には元々存在しないこと」および「周辺の土地利用状況からは当該物質の使用・保管等が考えられる事業場等がみあたらないこと」より、RD 最終処分場が原因である可能性がある。

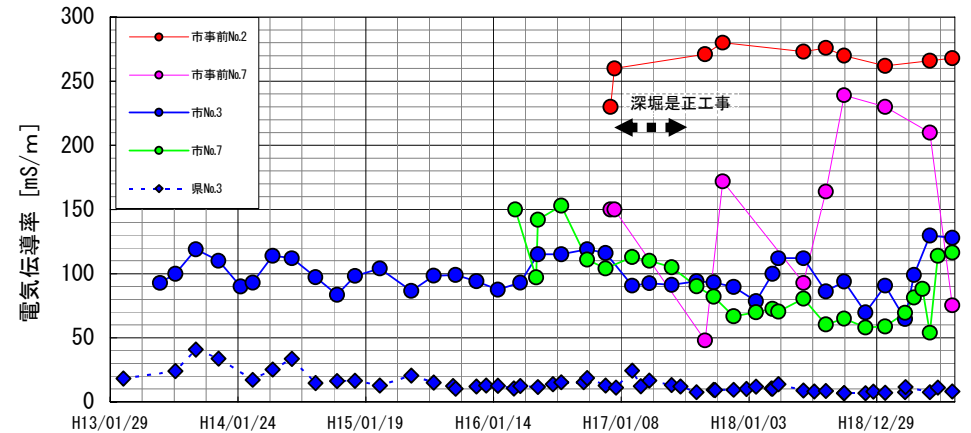
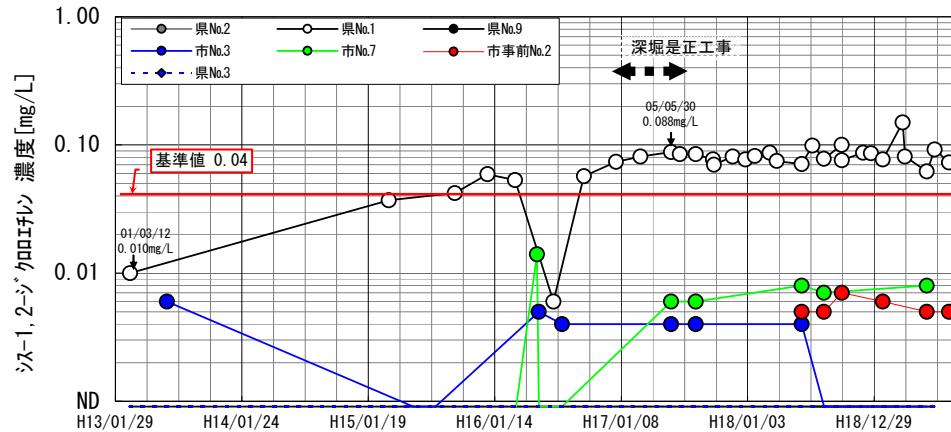


図 1.3.2 電気伝導率の経年変化



<シス-1,2-ジクロロエチレン>

- ・ 県No.1 (Ks2) は濃度が増加傾向にあり、平成 16 年 9 月以降、連続して基準超過している。
- ・ 市No.3 (Ks2)、市No.7 (Ks2) および市事前No.2 (Ks2) は、基準以下の検出が断続的に認められる。

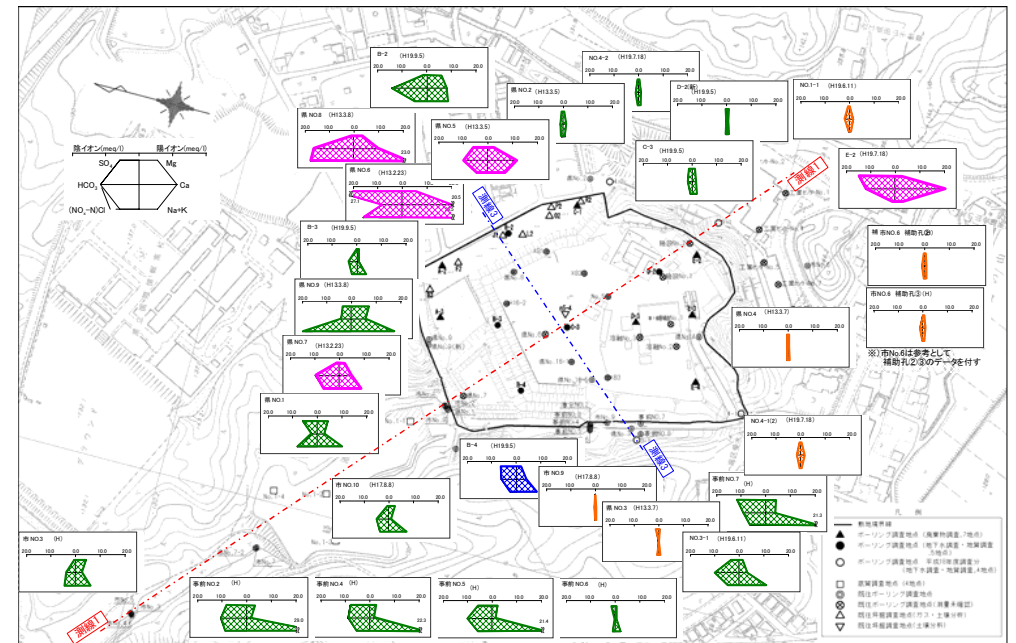
図 1.3.1 シス-1,2-ジクロロエチレンの経年変化

図 1.3.2 に電気伝導率の経時変化図を示す。

市No.3 や市No.7 の電気伝導率は 50～100mS/m の範囲で推移しており、RD 最終処分場の影響を否定できない状況にある。

図 1.3.3 にヘキサダイアグラムの一覧を示す。

市No.3 は、RD 最終処分場の南東部（地下水流向の上流）の県No.4-2 や県No.2 と比較すると形状が大きくわずかに塩化ナトリウム型を示し、RD 最終処分場の影響を受けている可能性がある。



凡例：浸透水、Ks2 層、Ks1 層、Ks2+Ks1 層
図 1.3.3 ヘキサダイアグラム一覧

2. Ks2帯水層の地下水の状況

2.1 地下水流動状況

Ks2帯水層の地下水の流動方向は、当該帯水層の地下水位の一斉測水の結果から次のように推定されている。

一斉測水は、平成19年4月16日より県および市が設置した観測井の全てを対象に1回/月の頻度で調査を行った。

(1) RD最終処分場周辺から経堂池上流にかけて

平成19年8月24日の測定結果を右の図2.1.2に示す。

RD最終処分場周辺から経堂池上流にかけての地下水の流動方向は、図2.1.2に示すように南東から北西への流動方向を示す。

(2) 経堂池下流側

経堂池下流側の市No.3と市No.7の地下水位を比較すると、市No.7の地下水位は市No.3の地下水位よりも低い(図2.1.1参照 平成19年7月31日を除く)。

地下水の流動方向は(図2.1.2参照)市No.3の地下水位が市No.7の地下水位よりも高いため、両地点の水頭差から北西から南東の経堂池へ向かう流動方向が推定される。

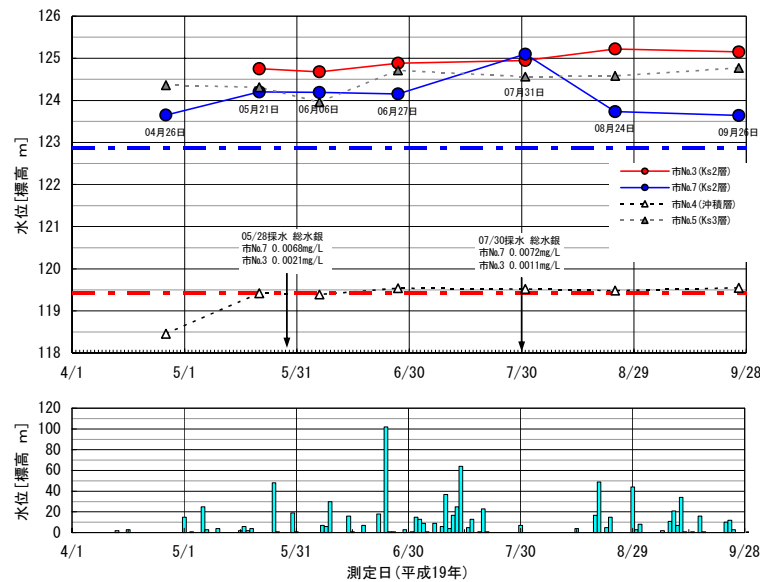


図2.1.1 市No.3と市No.7のKs2帯水層 地下水位の変化

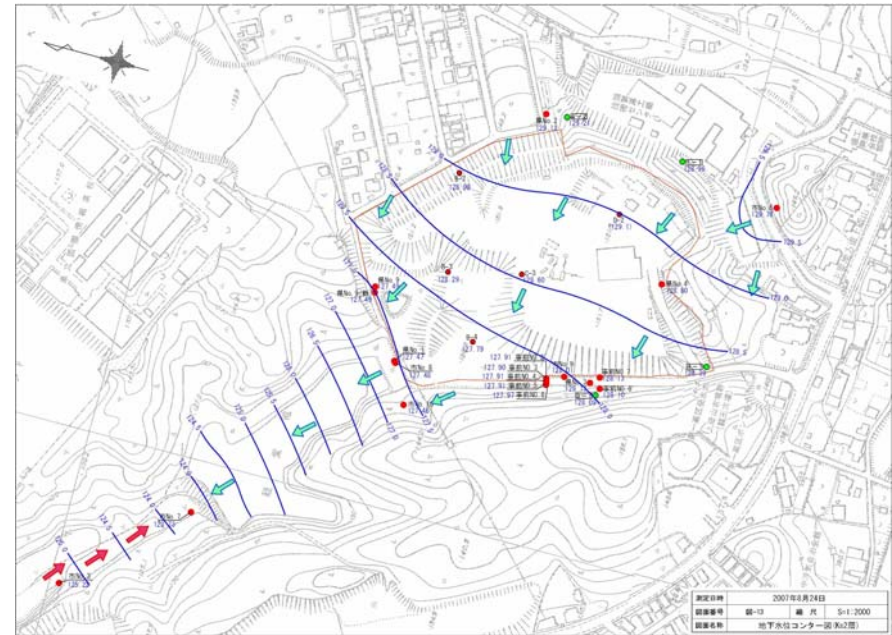


図2.1.2 Ks2帯水層の地下水位等高線図(平成19年8月24日測定)
 ←: 地下水位等高線に直交する流動方向(推定)

2.2 流動方向についての考察

Ks2帯水層の地下水の流動方向からみれば、市No.3は流動方向の下流、市No.7は流動方向の上流に位置する。しかし、地下水位は市No.3(水位標高+124.88m)の方が、市No.7(水位標高+124.15m)より高い。

被圧された地下水の流れは、水頭の高い所より低い所へ流れる。図2.1.2では、等高線に直交する流動方向を示す矢印が、経堂池下流側(北西)でRD最終処分場付近の地下水流動方向と逆向している。これは、この区域の水位の観測点が2点(市No.3と市No.7)しかないことによる。

したがって、この区域の西側や東側の地下水位測定結果(観測井を新設するなどして)があれば、流動方向を示す矢印は図2.1.2とは異なったものになるが、図2.1.1に示す測定期間の結果からは、市No.3の水位が市No.7より高く、市No.3は市No.7の影響を受けにくい流動状況にある結果となっている。

3. 水銀、シス-1, 2-ジクロロエチレンの汚染の到達距離について

3.1 地下水の移動距離と有害物質の移動距離

RD最終処分場は最終処分業としては昭和54年12月に新規許可を受けており、現時点で埋め立て開始から約28年が経過している。

第6回対策委員会ではKs2帯水層の地下水の実流速（推計値）を用い、昭和54年の埋め立て開始当初から有害物質が浸透水を経て地下水へ拡散し地下水とともに有害物質が北西方向へ移動したと仮定して有害物質の到達距離を算出し、21m/年×28年で約590mであると推計した。

しかし、一般に地下水に溶け込んだ有害物質の移動速度は、地下水流動と有害物質が帯水層中の土粒子に吸着されること等による遅延効果により特徴づけられる¹⁾とされている。

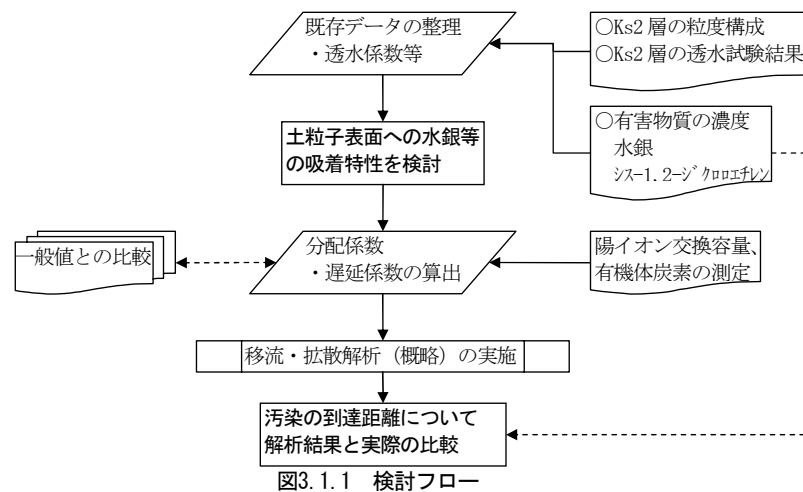
このため水銀等の移動距離について遅延効果を考慮した汚染物質の移流・拡散について、数値解析を実施した。

3.2 水銀・シス-1, 2-ジクロロエチレンに係る数値解析

(1) 検討内容

検討フローを図3.1.1に示す。

今回の検討では、処分場内における汚染物質の現時点の濃度が化学的に平衡状態にあると仮定して、地下水流動方向の下流側に汚染物質が移流・拡散する場合の汚染の到達距離を解析した。



(2) 移流・拡散解析

RD最終処分場内の浸透水は、処分場内の一部でKs2帯水層へ漏水していると考えられる。

本解析では汚染物質が浸透水の漏水とともにKs2帯水層中へ移行し、Ks2帯水層中の土粒子または混入物と吸脱着を繰り返して地下水流動方向下流側へ移動することを想定して数値解析を行った。

解析初期の汚染状態は、Ks2帯水層と廃棄物層が直接接している箇所から浸透水が漏水し地下水汚染が発生した状態とした。浸透箇所のKs2帯水層の汚染状態を示す濃度には、処分場内で測定した汚染物質濃度の最大値を与えた。また、浸透箇所の汚染濃度は時間に関係なく一定とした（一定の濃度の浸透水の漏水により、浸透箇所のKs2帯水層の汚染物質濃度は一定と考えた）。

(3) 物質移動にかかる遅延効果

○遅延効果（遅延係数）

地下水中における有害物質の移動速度の遅れの程度は、有害物質の種類、地盤条件によって異なる。

「(独)土木研究所資料 建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル」では、この遅れの程度（遅延係数）について次式を示している。

$$\therefore R = (1 + \rho_d / \theta \times Kd) \dots\dots\dots \text{式(a)}$$

$$R: \text{遅延係数} [-] \quad \rho_d: \text{土の乾燥密度} [\text{g/ml}] = 1.8$$

$$\theta: \text{体積含水率} [-] = 0.2 \quad Kd: \text{飽和土に対する分配係数} [\text{ml/g}]$$

地下水で飽和している時は有効間隙率（ n_v ）に等しい。

遅延係数 R は、水銀とシス-1, 2-ジクロロエチレンの分配係数 Kd を求め、式(a)を用いて推計した。

○水銀の分配係数と遅延係数の推計

委員からの提案で実施した陽イオン交換容量（CEC）の試験結果（6章表3.2.1参照）から、分配係数 $Kd_{Hg^{2+}}$ を求めた。

水銀の土壌への吸着は、 Na^+ 等陽イオンとの交換吸着によるとすると、水銀（ Hg^{2+} ）と交換されるナトリウム（ Na^+ ）等の間の交換反応は6章の式(b)のように表すことができる。

$K_{\text{Na}/\text{Hg}^{2+}}$ は、選択係数である。1より大きいということは陽イオンKよりも Hg^{2+} が吸着したほうが安定であることを示す（吸着しやすい）。

分配係数 Kd は、交換陽イオン毎の選択係数の逆数の和として算出した。

地下水中の Hg^{2+} と土壌表面にある吸着した Hg は平衡状態にあると考え、 $[\text{Hg}^{2+}]$ はる過後の濃度、 $[\text{HgX}_2]$ は全量（SSに吸着している）の濃度を用いた。

$[\text{Na}^+]$ 等はヘキサ項目における当該イオンの濃度、 $[\text{NaX}]$ 等は各イオンの交換容量の測定結果を用いた。

県D-2の結果をもとに、求めた Kd は5.32である（表3.2.1参照）。

求めた Kd は、建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル（暫定版）、平成15年7月、独立行政法人土木研究所に示される一般値の範囲（ $Kd=5\sim 40$ ）にある。

¹⁾ 建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル（暫定版）、平成15年7月、独立行政法人土木研究所、pp46

表 3.2.1 RD 最終処分場における陽イオン交換容量の測定結果

地点・深度 (Ks2層)	交換性陽イオン [meq/kg]				合計
	交換性ナトリウム (NaX)	交換性カリウム (KX)	交換性カルシウム (CaX)	交換性マグネシウム (MgX)	
県D-2 25m	1.0	2.0	8.0	8.0	19.0

基本式

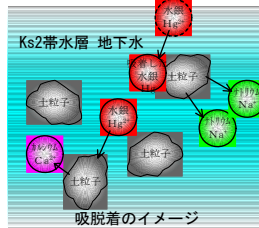
$$Na^+ \quad K_{Na/Hg} = \frac{[Na^+]^2 \cdot [HgX_2]}{[NaX]^2 \cdot [Hg^{2+}]}$$

$$K^+ \quad K_{K/Hg} = \frac{[K^+]^2 \cdot [HgX_2]}{[KX]^2 \cdot [Hg^{2+}]}$$

$$Ca^{2+} \quad K_{Ca/Hg} = \frac{[Ca^{2+}] \cdot [HgX_2]}{[CaX] \cdot [Hg^{2+}]}$$

$$Mg^{2+} \quad K_{Mg/Hg} = \frac{[Mg^{2+}] \cdot [HgX_2]}{[MgX] \cdot [Hg^{2+}]}$$

式(b)



式(b)により、選択係数を算出した(表3.2.2参照)。

①HgX₂は全量の試験結果より以下のように算出した。

$$[HgX_2] = ((\text{全量のHg濃度}) / (SS)) \times \text{イオン化数} / \text{Hg原子量} \times 10^6$$

$$= (0.0026 / 21000) \times 2 / 200.59 \times 10^6 = 0.00123 \text{ meq/kg}$$

②Na⁺等陽イオンの[Na⁺]は次式で等量計算を行った。

$$[Na^+] = \text{イオン濃度(ヘキサ測定結果)mg/L} \times \text{イオン価数} / \text{原子量}$$

イオン	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
濃度[mg/L]	15.0	2.2	8.4	5.0
原子量	22.99	39.1	40.08	24.3
イオン価数	1	1	2	2
等量[meq/L]	0.652	0.056	0.419	0.412

③Hg²⁺の[Hg²⁺]はろ液の試験結果より次式で等量計算を行っている。

$$[Hg^{2+}] = \text{ろ液濃度 mg/L} \times \text{イオン価数} / \text{原子量}$$

*) なお、ろ液の結果は不検出であったため定量下限値(0.0005mg/L)より算出した。

$$\therefore [Hg^{2+}] = 0.0005 \text{ mg/L} \times 2 / 200.59 = 4.99 \times 10^{-6}$$

表 3.2.2 陽イオン交換容量の測定結果より算出した選択係数の一覧

地点・深度 (Ks2層)	交換性陽イオン [meq/kg]			
	$K_{Na^+/Hg^{2+}}$	$K_{K^+/Hg^{2+}}$	$K_{Ca^{2+}/Hg^{2+}}$	$K_{Mg^{2+}/Hg^{2+}}$
県D-2 25m	1.05×10^2	1.94×10^{-1}	1.30×10^1	1.28×10^1

$$\therefore Kd = 1/K_{Na^+/Hg^{2+}} + 1/K_{K^+/Hg^{2+}} + 1/K_{Ca^{2+}/Hg^{2+}} + 1/K_{Mg^{2+}/Hg^{2+}} = 5.32$$

求めたKdを式(a)に代入する。

$$\therefore R = (1 + \rho d / \theta \times Kd) = (1 + 1.8 / 0.2 \times 5.32) = 48.88 \approx 48.9$$

○シス-1, 2-ジクロロエチレンの分配係数と遅延係数の推計

委員からの提案により実施した有機体炭素量の試験結果から分配係数Kdを求めた。

揮発性有機化合物の土壌への吸着において、Kdはフロイントリヒ吸着式に近似でき、

$$\therefore Kd = K_{oc} \times f_{oc} \quad \text{で表される。}$$

$$K_{oc} : \text{土壌内有機炭素と水との間の分配係数} \quad f_{oc} : \text{土中の有機体炭素量 重量比 [g/g]} \\ [\text{ml/g}] = 49 \text{ (シス-1, 2-ジクロロエチレン)}$$

表3.2.3にKs2帯水層における有機体炭素量の測定結果を示す。

表3.2.3 RD最終処分場における有機体炭素試験結果一覧

地点・試験深度	県No.1-1		県NoD-2		県NoC-3		県No.1	
	5.0m	7.0m	25.0m	28.0m	28.0m	30.0m	11.0m	15.0m
有機体炭素(g/g)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

試験結果では、全て有機体炭素は不検出となっている。

このため、Kdを算出するためのf_{oc}は表3.2.4に示す文献値をもとに、Ks2帯水層が細～中砂により構成されているため、0.00023～0.00026の中間値(平均値)として0.00026を与え、推計した。

$$\therefore Kd = K_{oc} \times f_{oc} = 49 \times 0.00026 = 0.0127 \approx 0.013$$

求めたKdを式(a)に代入する。

$$\therefore R = (1 + \rho d / \theta \times Kd) = (1 + 1.8 / 0.2 \times 0.013) = 1.117 \approx 1.12$$

表 3.2.4 土質材料と f_{oc} の値

土質材料	f _{oc} [g/g]
細～中粒状砂	0.00023
細砂	0.00026
細～中砂	0.00028

(4) 解析条件

表 3.2.5 に数値解析の目的と解析に用いる地盤条件等の定数を整理して示す。

表 3.2.5 設定定数と解析の目的

解析する有害物質		水銀	シス-1,2-ジクロロエチレン
数値解析の目的		<ul style="list-style-type: none"> 市No.3 および市No.7 は、水銀の地下水汚染が確認されているが、RD 最終処分場を原因としない可能性がある。 RD 最終処分場を汚染源と想定し、汚染の到達距離を解析し、市No.3 や市No.7 に汚染が到達する可能性の有無を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> 市No.3 および市No.7 では、シス-1,2-ジクロロエチレンが地下水で検出されている。 RD 最終処分場を汚染源と想定し、汚染の到達距離を解析し、市No.3 や市No.7 で検出される可能性の有無を検討する。
地盤条件	土の乾燥密度 ρd [g/ml]	1.8	
	体積含水率 θ [-]	0.2	
	透水係数 k [cm/sec]	2.7×10^{-3} $(i = 0.005, n = 0.2 \text{ の場合 } v = 21\text{m/年})$	
化学物性	分配係数 Kd [L/kg]	5.32	0.013
	遅延係数 R [-]	48.9	1.12
	初期濃度 C_{0i} [mg/L]	0.0026 (県 D-2 の結果)	1.1 (西側平坦 EF の結果)
	仮想点の濃度 C_p [mg/L]	0.0005	0.04

^{※1)} 初期濃度 (C_{0i}) とは、RD 最終処分場内の漏水区域における Ks2 帯水層の汚染物質濃度

^{※2)} 仮想点 (C_p) の濃度とは環境基準値とした。

3.3 解析結果

(1) 解析結果

<水銀>

図3.3.1にKs2帯水層に水銀が浸透してから28年が経過するまでの間に、水銀が到達する距離と濃度の関係を示す。

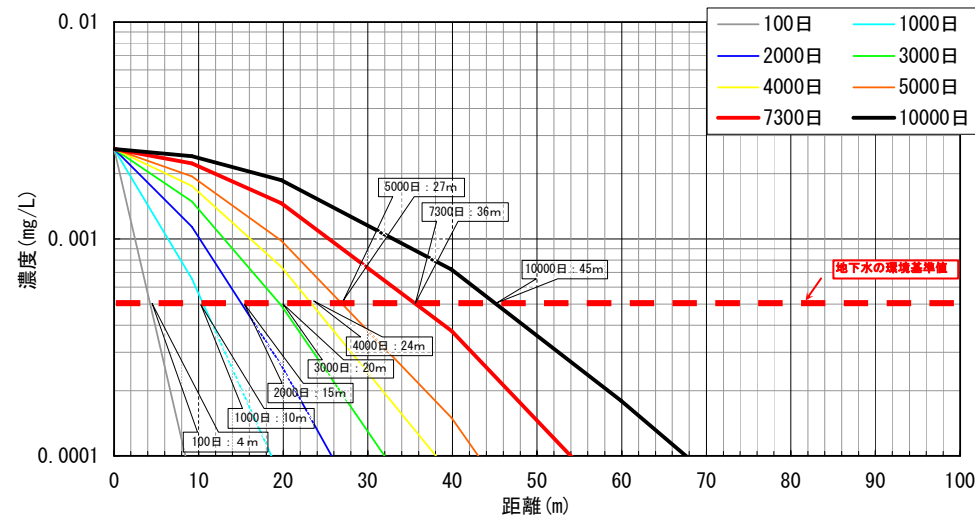


図3.3.1 水銀の到達距離と濃度の関係

水銀がKs2帯水層に移行してから10000日(約28年)を経過した時点で基準値(0.0005mg/L)を超過する範囲は、45mである。

<シス-1,2-ジクロロエチレン>

図3.3.2にKs2帯水層にシス-1,2-ジクロロエチレンが浸透してから28年が経過するまでの間に、シス-1,2-ジクロロエチレンが到達する距離と濃度の関係を示す。

シス-1,2-ジクロロエチレンがKs2帯水層に移行してから10000日(約28年)を経過した時点で基準値(0.04mg/L)を超過する範囲は、1800mである。

市No.7は、最終処分場の北西端から220m、南東端から540mの位置にあり、市No.3は、最終処分場の北西端から360m、南東端から680mの位置にある。シス-1,2-ジクロロエチレンが最終処分場の南部でKs2帯水層に移行した場合、約3000日(約8年)で市No.3まで到達する可能性がある。

図3.3.2に県No.1の2回の測定結果を併記した。

県No.1は平成13年3月12日に0.010mg/L検出されていたが、1540日後の平成15年5月30日は0.088mg/Lまで濃度が増加した。県No.1は浸透水漏水箇所の北西端部より約160m離れた地点である。

解析で用いた遅延係数 R を用いた場合、平成13年3月に検出されたシス-1,2-ジクロロエチレンが0.09mg/L程度にまで増加するのに500日を要しない(図3.3.2参照)。実際の測定値は約1500日を経ており、遅延係数 R は解析で用いた値より大きい可能性がある。

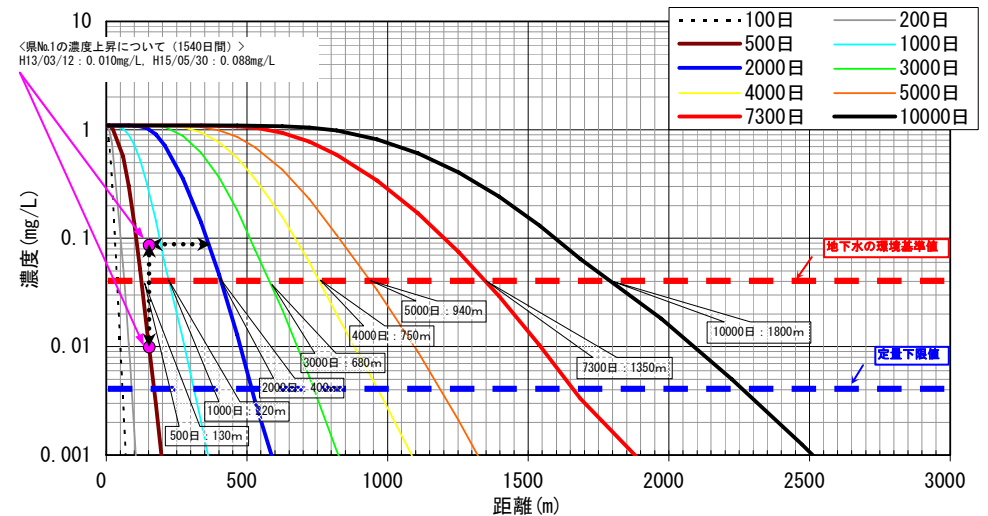


図3.3.2 シス-1,2-ジクロロエチレンの到達距離と濃度の関係

(2) まとめ

○汚染の到達距離について

本検討では、透水試験によって得られた透水係数および汚染物質の吸着に係る陽イオン交換容量および有機体炭素量の測定結果で得られた分配係数等を用いて移流拡散解析を行い、汚染の到達距離について検討した。

その結果、「水銀とシス-1,2-ジクロロエチレンでは物性の違いから遅延係数が異なり、同じ時間における両物質の汚染の到達距離は異なる」ことが判明し、水銀の地下水汚染は市No.3および市No.7までは到達しない結果となった。

一方、シス-1,2-ジクロロエチレンは地下水に移行してからの移動速度が速く、Ks2帯水層へ浸透して28年を経ると約1800mにまで汚染が拡大する可能性がある結果となった。

ORD 最終処分場が原因とされた場合の現象と測定結果の比較

経堂池下流（市No.3 と市No.7）の地下水汚染の原因が RD 最終処分場である場合の現象と実際の測定結果とを比較し、その相異点について以下にまとめる。

1) 市No.7 の総水銀の濃度変化

○ Ks2 帯水層の市No.7 の総水銀は、RD 最終処分場から地下水とともに移動してきたと仮定する。

- ・ 市No.7 は平成 19 年の 6 回の測定で連続して検出され、これは市No.3 よりも高い濃度である。
- ・ 市No.7 の平成 19 年の検出は、平成 19 年より以前に市No.7 からみて地下水流向上流側の観測井で同等以上の濃度で検出される必要がある。

(測定結果との相異点)

- ① 市No.7 より地下水流向の上流に位置する観測井では、現在の市No.7 と同等以上の濃度で総水銀が検出された観測井は存在しない（平成 13 年以降の測定結果）。
- ② 市No.7 の S S 中の総水銀の濃度は、処分場内を含む他の観測井、クラーク数^{※1} 等と比較して最も高い。

表 3.3.1 地下水中の S S および底質に含まれる総水銀（単位：mg/kg）

クラーク数	滋賀県内河床砂	市No.6	RD 最終処分場内	市No.7	経堂池底質表層
0.2 (0.00002%)	0.01~0.83	0.03	0.12~0.54	30~3100	0.11~0.19

※1) クラーク数：地表下 10 マイル（約 16 km）までの地球表層（気圏、水圏を含む）の元素存在度を重量%で表した値。

2) 市No.3 の総水銀濃度の変化

○ Ks2 帯水層の市No.3 は RD 最終処分場から流下する地下水の影響を受けやすい状況にあり、総水銀は RD 最終処分場から地下水とともに移動してきたと仮定する。

- ・ 市No.3 の総水銀は平成 13 年の測定開始当初から平成 19 年の現在に至るまで、常に検出されている（0.0011~0.028mg/L）。
- ・ 市No.3 で 6 年間にわたり連続して総水銀が検出されていることは、総水銀が常に地下水とともに汚染源から市No.3 へ移動してきている必要がある。

(測定結果との相異点)

- ① 平成 19 年に至るまで市No.3 と同様に連続して総水銀が検出され、かつ、同等以上の濃度で検出された井戸は存在しない。
- ② 県No.1 は常に不検出、市No.7 は平成 16 年と平成 19 年を除いて不検出となっている。

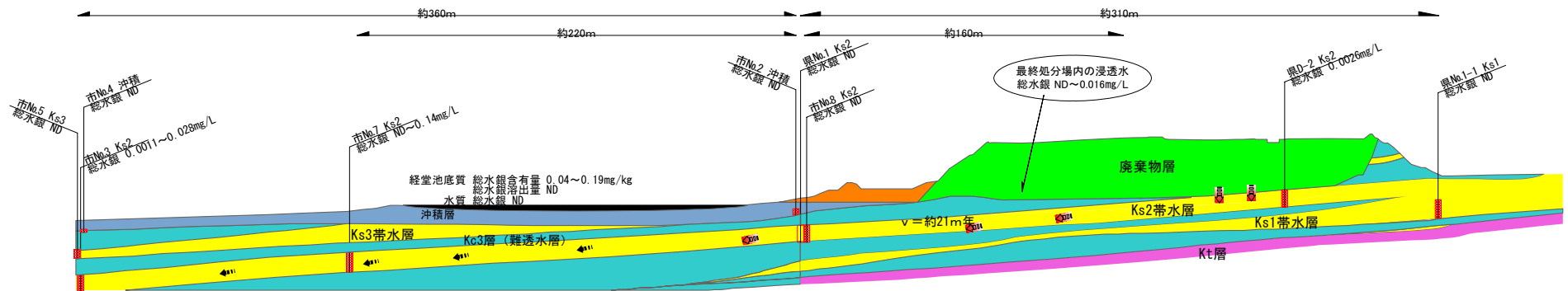
3) Kc3 層および沖積層の遮水性

○ 市No.3 や市No.7 の総水銀は Ks2 帯水層での移動ではなく、Kc3 帯水層から Kc3 難透水層を浸透・通過して Ks2 帯水層に移行したと仮定する。

- ・ 経堂池の下流側で Kc3 難透水層が有効な遮水能力を持っていない場合、被圧した Ks2 帯水層の地下水は、Ks3 帯水層の地下水に影響を与える。
- ・ 経堂池下流側で Ks3 帯水層が Ks2 帯水層の影響を受けている場合には、当該帯水層の地下水位が高くなる、シス-1, 2-ジクロロエチレン等が検出され COD が高くなるといった水質である必要がある。

(測定結果との相異点)

- ① Ks3 帯水層（市No.5）や沖積層（市No.4）の観測井は自噴せず、地表部に湧水は認められない。
- ② Ks3 帯水層（市No.5）や沖積層（市No.4）の観測井でシス-1, 2-ジクロロエチレンは不検出であり、COD も低い。



※ イメージ図では廃棄物層と Ks2 帯水層が直接接しているが、県No.1-1——市No.3 の側線上では接していない。実際には、最終処分場の南西部である。

図 3.3.3 総水銀の RD 最終処分場が原因である場合のイメージ図

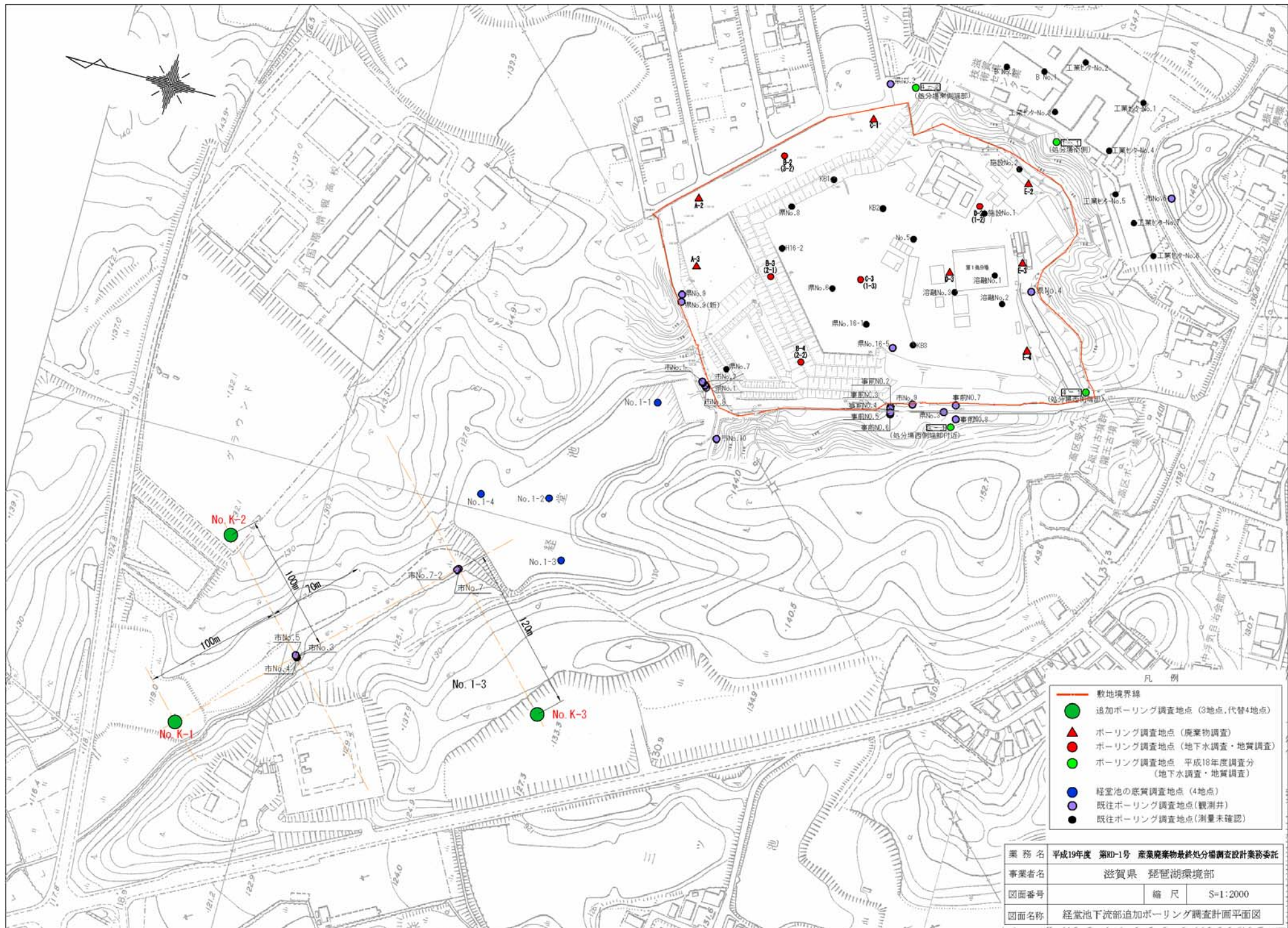


図 3.3.4 経堂池下流部追加ボーリング調査計画平面図