

有機フッ素化合物を用いた最終処分場浸出水の漏えい調査

栗原正憲 大石 修 吉澤 正

1 はじめに

当研究室ではこれまでに、有機フッ素化合物(以後、PFCs と略す)の公共用水域の環境実態調査¹⁾や廃棄物最終処分場の浸出水等、放流水の実態調査²⁾を行い、PFCs 濃度やその組成についての知見の蓄積をはかってきた。また、昨年度は浸出水の漏れ出しのあった最終処分場での追跡調査において、PFCs を指標として利用した事例について報告した。

ここでは、最終処分場から地下水への漏えいの有無の判断のために、地下水観測井の水質調査に有機フッ素化合物を利用した調査事例について報告する。

本調査を実施した経緯は、2012年1月20日に最終処分場 A 社の観測井の塩化物イオン濃度(以後、Cl イオンと記す)と電気伝導率(以後、EC と記す)が、以前と比べて大幅に上昇していることが判明し、原因特定のために調査したものである。

なお、A 社はこの原因として、融雪剤として使用した塩化カルシウムが地下水に混入した可能性と、下流の観測井である井戸 1 に関しては放流水の放流口が近く、その影響である可能性を主張した。

2 調査方法

2・1 試料

試料は図 1 に示した観測井およびその他の参考となる地点から採水した。試料は、観測井である井戸 1、井戸 3、井戸 4、井戸 5、および地下水集水ピット(流域からの雨水排水が遮水シートより下を通り集まった水)を分析試料とした。参考として、場内の飲用水井戸、浸出水が集水され水処理施設に流入する直前の水処理原水(以後、原水という)、水処理施設からの放流水、雨水排水が一時貯留される調整池の分析も行った。井戸の諸元を表 1 に、採水地点を図 1 に示した。なお、観測井は掘削時に水が

確認できた深度にストレーナーを設けたものであり、すべての観測井が同じ帯水層ではない。また、地下水の流動方向は、おおむね井戸 3 から井戸 1 へ向かっているが詳しい流動方向は把握していない。

2・2 分析項目

Cl イオンなどのイオン類及び人為的に製造された化学物質である PFCs を分析項目とした。PFCs は表 2 に示した炭素鎖の異なる 16 種を分析対象とし、LC/MS 法で分析した。

イオン類は表 3 に示したカルシウムイオン(以後、Ca イオンと記す)等 5 種のカチオン、Cl イオン等 7 種のアニオン、計 12 種のイオン類をイオンクロマトグラフ法で分析した。また、現場での EC 測定を行った。

2・3 採水時期

採水は 2012 年 1 月 20 日と 2 月 3 日に実施した。イオン類は 2 月 3 日の試料のみを分析し、少量しか採水できなかった地下水集水ピットは測定できなかった。PFCs の分析は両日の試料とも実施した。なお、1 月 20 日の試料は、放射性核種分析用試料を分析終了後に分取して、PFCs の分析を行った。

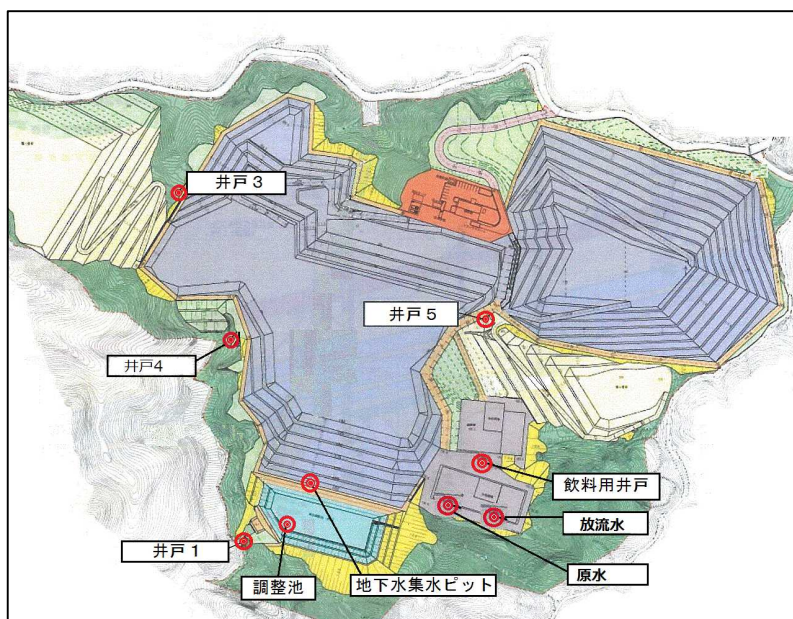


図 1 採水地点図

3 調査結果

3・1 イオン類の分析結果

分析結果を表3に示した。

観測井に関しては、井戸1及び井戸3のECが高かった。CaイオンとClイオン濃度はそれぞれ、井戸1が170, 430 mg/L、井戸3が280, 600 mg/Lであり、一般的な地下水の水質と比べて明らかに高い濃度であった。なお、過去の測定値として、2009年2月26日に行われた県の立ち入りでは、Clイオン濃度は井戸1が71 mg/L、井戸3が10 mg/Lであり、明らかに濃度は上昇していた。

その他のイオンで特徴的なのは臭化物イオン(以後、Brイオンと記す)があり、原水及び放流水に100数十

mg/Lの濃度で含まれていた。観測井のBrイオン濃度は井戸1で18mg/Lと高く、次いで、井戸3が7.0 mg/L、井戸4が1.7 mg/Lであった。井戸5は0.2 mg/L未満であった。このことから、井戸1及び井戸3に浸出水が放流水が多く混入しており、井戸4も影響を受けている可能性が考えられた。

なお、A社が散布した融雪剤2種(主成分は塩化カルシウム)を、井戸1や井戸3と同程度のClイオン濃度、約500 mg/Lとなるような水溶液に調製した場合、その水溶液中のBrイオン濃度は0.1mg/L未満であった。このことから、観測井のBrイオンの濃度が高いのは融雪剤の浸透によるものではないと考えられた。

表1 井戸の諸元

観測井	管頭標高(m)	スレーナー標高(m)	井戸深さ(m)
井戸1	140.59	116.59~124.59	25
井戸3	189.69	180.69~184.69	10
井戸4	166.25	116.25~124.25	50
井戸5	196.11	146.37~154.37	50
飲用井戸	193	43※	180

※ポンプ位置

表2 調査対象PFCs

略号	化合物名	略号	化合物名
PFBA	パーフルオロブタン酸	PFDoDA	パーフルオロドデカン酸
PFPeA	パーフルオロペンタン酸	PFTrDA	パーフルオロトリデカン酸
PFHxA	パーフルオロヘキサン酸	PFTeDA	パーフルオロテトラデカン酸
PFHpA	パーフルオロヘプタン酸	PFBS	パーフルオロブタンスルホン酸
PFOA	パーフルオロオクタン酸	PFHxS	パーフルオロヘキサンスルホン酸
PFNA	パーフルオロノナン酸	PFHpS	パーフルオロヘプタンスルホン酸
PFDA	パーフルオロデカン酸	PFOS	パーフルオロオクタンスルホン酸
PFUnDA	パーフルオロウンデカン酸	PFDS	パーフルオロデカンスルホン酸

表3 イオン類濃度 (mg/L)

採取地点	Na	NH4	K	Mg	Ca	F	Cl	NO2	Br	NO3	PO4	SO4	EC
井戸1	48	<0.2	16	100	170	<0.2	430	<0.2	18	<0.2	<0.2	90	196
井戸3	100	<0.2	6.7	69	280	<0.2	600	<0.2	7.0	<0.2	<0.2	49	293
井戸4	20	<0.2	7.1	31	85	<0.2	37	<0.2	1.7	<0.2	<0.2	110	88.0
井戸5	24	<0.2	3.5	39	130	<0.2	7.0	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	190	89.0
飲用井戸	10	<0.2	4.6	7.0	30	<0.2	7.0	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	22	30.0
地下水集水ピット													216
原水	1700	230	610	150	1200	<0.2	5800	<0.2	150	<0.2	<0.2	180	1770
放流水	2700	<0.2	800	140	1200	<0.2	7000	<0.2	150	1.6	<0.2	220	2010
調整池	38	1.7	11	11	59	<0.2	130	<0.2	3.9	1.8	<0.2	30	60.0

表4 主なPFCs濃度 (ng/L)

採取日	採取地点	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFBS	PFHxS	PFOS
1月20日	井戸1	120	72	79	22	330	7.9	160	2	2
	井戸3	69	56	74	35	140	6.4	93	1	<1
	原水	2100	670	650	240	4000	120	9000	31	21
	放流水	310	7	3	<2	11	<2	33	<2	<2
2月3日	井戸1	330	140	150	25	120	7	330	2	3
	井戸3	160	130	150	77	290	10	160	2	2
	井戸4	36	12	20	8	57	2	24	2	2
	井戸5	12	3	4	5	21	2	2	2	2
	飲用井戸	0.9	<0.8	<0.8	1.0	1.9	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
	地下水集水ピット	240	98	89	40	510	9	600	<4	12
	調整池	59	34	34	20	180	18	140	<2	<2
原水	1600	490	490	170	3700	84	11000	23	15	
放流水	4000	4	<4	<4	9	<4	17	<4	<4	

3・2 PFCsの分析結果

主なPFCs濃度を表4、濃度組成を図2に示した。原水中のPFCsで最も濃度の高いものは、PFBSの11,000 ng/Lであり、次いでPFOAが3,700 ng/Lであった。原水で最も高い濃度のPFCsはPFBSであり、筆者らがこれまで調査を実施した千葉県内の一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物最終処分場の浸出水ではこの処分場のみであり、特異的な組成と考えられた。放流水では活性炭処理でかなりの部分が除去されており、活性炭処理で吸着が弱い短鎖のPFCs及び原水濃度の高いPFOAが検出された。

井戸1、井戸3及び地下水集水ピットの試料からPFCsが高い濃度で検出され、2月3日のPFOA濃度はそれぞれ120、290、510 ng/Lであった。

2007年に調査した県内公共用水域(河川)のPFOA濃度の幾何平均値は12.3 ng/Lであり、発生源の少ない地域ではそれよりも低い濃度であった。また、処分場内の深井戸、飲用井戸では1.9 ng/Lと低い濃度であった。このことから、井戸1、井戸3及び地下水集水ピットのPFCs濃度は明らかに高い値であり、人為的な汚染を強く受けていると判断できた。

さらに、図2から井戸1、井戸3及び地下水ピットでもPFBSは主要なPFCsであり、原水と同じ特徴が認められた。このことから、他の発生源による影響ではなく、この処分場の浸出水が地下水に混入したことが強く示唆された。

なお、Brイオンを測定した融雪剤の水溶液のPFCsを測定したが、すべて1ng/L未満であった。

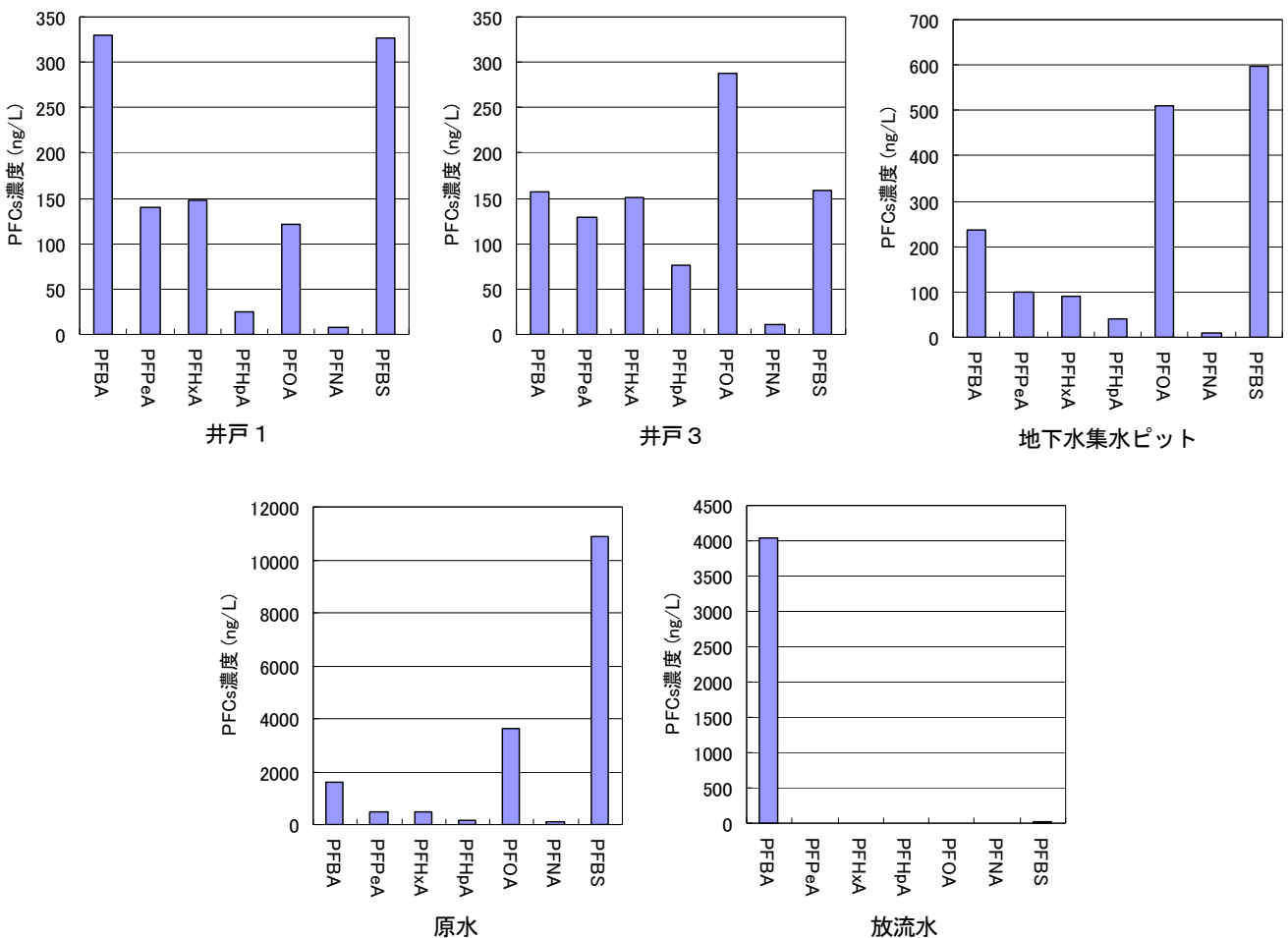


図2 主な試料のPFCs組成(単位:ng/L)
(2月3日)

4 PFCsの濃度比による解析

PFCsは炭素鎖が長いほど水処理施設の活性炭により除去されやすい傾向があり、末端がカルボン酸のものとスルホン酸のものでは除去率が異なっていた²⁾。A社の水処理でのPFOA、PFBSの除去率はいずれも99%以上であったが、PFBAは除去率が低かった。この差を利用し、PFBS/PFBA及びPFOA/PFBAの比から地下水に影響しているのが浸出水なのか放流水なのかの判別を行った。なお、浸出水の値は原水の分析値を代表値として用いた。1回目、2回目の調査のそれぞれの分析値から求めた比と、2回の分析値の平均値(地下水集水ピットは2月3日のみ)から求めた比を比較したものを表5に示した。

PFBS/PFBAの比を見ると、平均値から求めた比は原水は5.5、放流水は0.01と大きな差があった。井戸1は1.1、井戸3は1.2、地下水集水ピットは2.5であった。いずれも原水と同じオーダーの値であり、放流水とは100倍異なっていた。PFOA/PFBAの比について同様に比較すると、原水では2.1、放流水は0.005とこれも大きな差があった。井戸1は1.0、井戸3は2.0、地下水集水ピットは2.1と、原水と同じオーダーであり放流水とは100倍以上異なっていた。このように、PFCsの濃度比の比較からも地下水に漏えいしているのは放流水ではなく、浸出水であることが強く示

唆された。

ただし、調査回ごとの比と平均値からの比は大きく異なりものもあり、組成変動の原因については検討の余地があった。

5 まとめ

最終処分場の地下水観測井のECやClイオン濃度が大幅に上昇した原因を調査したところ、PFCs及びイオン類の測定結果から、浸出水が地下水に漏えいした可能性が非常に高いと判断された。

PFCsは汚染源のない環境では濃度が低く、浸出水の漏えいがあった場合の検出を感度良く行えると考えられた。また、組成の比較により汚染源の推定が可能であり、有用な汚染指標として活用しうると考えられた。

参考文献

- 1) 有機フッ素化合物の環境汚染実態と排出源について：清水 明 栗原正憲 吉澤 正 杉山 寛，千葉県環境研究センター年報(2010)
- 2) 一般廃棄物最終処分場の浸出水中の有機フッ素化合物およびその水処理：吉澤正，栗原正憲，大石修，清水明，杉山寛，水環境学会誌、第34巻、第7号(2011)，p95-101

表5 PFCsの濃度比の比較

	PFOA / PFBA			PFBS / PFBA		
	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均
井戸1	2.8	0.36	1.0	1.3	1.0	1.1
井戸3	2.0	1.8	2.0	1.3	1.0	1.2
地下水集水ピット	—	2.1	2.1	—	2.5	2.5
原水	1.9	2.3	2.1	4.3	6.9	5.5
放流水	0.035	0.002	0.005	0.11	0.004	0.01

【要旨】

最終処分場の地下水観測井のPFCs及びイオン類の測定結果から、浸出水が地下水に漏えいした可能性が非常に高いと判断された。PFCsは汚染源のない環境ではバックグラウンド濃度が低く、浸出水の漏えいの検出を感度良く行えると考えられ、また組成の比較により汚染源の推定が可能であった。

キーワード：有機フッ素化合物，最終処分場，浸出水，地下水，観測井