

有機フッ素化合物測定結果に係る市内地下水流動等について

相模原市環境経済局環境部環境保全課

相模原市域では、有機フッ素化合物（以下「PFAS」という。）であるペルフルオロオクタンスルホン酸（以下「PFOS」という。）とペルフルオロオクタン酸（以下「PFOA」という。）が、中央区を中心に地下水等から検出されている。

今回、主に中央区南橋本から上溝の道保川公園までのエリアの地下水流動の解析等を行うことで、課題になっている指針値超過エリアの今後の広がりや発生源の推察を行うこととした。

また、これらの調査結果等行政の情報を発信することにより、市民の安心につなげることを期待している。



図1 相模原市中央区南橋本～上溝エリア

地理院地図を加工して作成

1 現状と課題

PFOS と PFOA は、環境中で分解されにくく生物への蓄積性があり、人及び動植物に対する慢性毒性もあることから、現在、国内外において製造、使用等が規制されている。

環境省は令和2年度に「PFOS 及び PFOA」（以下、「PFOS 等」という。）を人の健康の保護に関する要監視項目に追加し、指針値（暫定）として「0.00005mg/l 以下（50ng/l 以下）」を設定した。要監視項目は、人の健康の保護に関連する物質であるものの、公共用水域等における検出状況からみて、直ちに環境基準とはせず、引き続き知見の集積に努めるべきものである。なお、令和7年6月30日付環水大管発第2506309号「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の施行等について（通知）」により、PFOS 等の「指針値（暫定）」は「指針値」とされた。

市では、令和2年度に神奈川県が実施した鳩川水系の河川水調査^{*1}において、指針値を超える PFOS 等が検出されたことを受け、市内で河川水等の調査を行った。

また、市域全体をメッシュで区切り、市内の地下水の状況把握を行ったほか、湧水や生物の調査も実施した。

これらの調査結果における指針値超過地点の分布から指針値を超過した地下水のおおよその分布範囲は推察できるものの、地下水の流れを正確に知るためには詳細な調査が必要であるほか、PFOS等の土壌及び地下水中での挙動について未解明な点が多いことから、現時点では発生源の究明は難しい。例えば、PFOSは揮発性有機化合物の一種とされているが、一般的に揮発性有機化合物による地下水汚染では、地下水の流動と共に高濃度エリアが移動していきることがあり得るため、今回の一連の調査結果で高い値が確認された地点が発生源とは限らない。

2 調査方法

調査は民間事業者への委託によるもの及び市衛生研究所で実施したものがあり、市衛生研究所ではPFOS等の濃度分析と合わせてイオン成分の分析も実施した。

表1 令和3年度から令和6年度までのPFOS等調査状況

実施年度	調査媒体	地点数 (うちイオン成分実施数)	指針値超過地点数	備考
令和3年度	河川水	2 (2)	2	
	地下水	21 (17)	3	
令和4年度	河川水	4	3	新たな超過地点1
	地下水	19	7	新たな超過地点4
令和5年度	河川水	3 (1)	3	新たな超過地点0
	地下水	14 (6)	6	新たな超過地点1
令和6年度	河川水	4	3	新たな超過地点0
	地下水	15 (8)	9	新たな超過地点3
	湧水	6	0	
	生物	3種類	—	
延べ数	河川水	13 (3)	11	
	地下水	69 (31)	25	
	湧水	6	0	
	生物	3種類	—	

現状を把握するとともに今後の課題解決に資するため、令和4年度から6年度に市が実施した調査結果および既存文献資料等をもとに、市域のうち主に相模原台地(後述)エリアについて、PFOS等の濃度分布の状況、地下水の流動や地質構造との関係性について考察を行った。

3 結果

(1) 水質調査結果概要

市域全体の調査の結果、南橋本（メッシュ番号 24）から上溝（メッシュ番号 20）にかけて指針値を超過しているメッシュが確認された。隣接したメッシュである田名（メッシュ番号 25）及び矢部（メッシュ番号 11）においても指針値の超過が確認された。また、当該地域から離れた南区上鶴間本町（メッシュ番号 2）でも指針値の超過が確認されたが、継続監視を行ったところ、令和 6 年度は指針値を下回った。その他の指針値超過地点では、継続監視を行っている中で濃度の増減はあったものの、いずれも指針値を下回らなかった。

令和 6 年度は、南橋本周辺で指針値超過範囲を詳細に把握する周辺調査を行い、新たに 3 地点の指針値超過地点が判明した。

市内調査メッシュ図(令和3年度～令和5年度地下水概況調査結果)

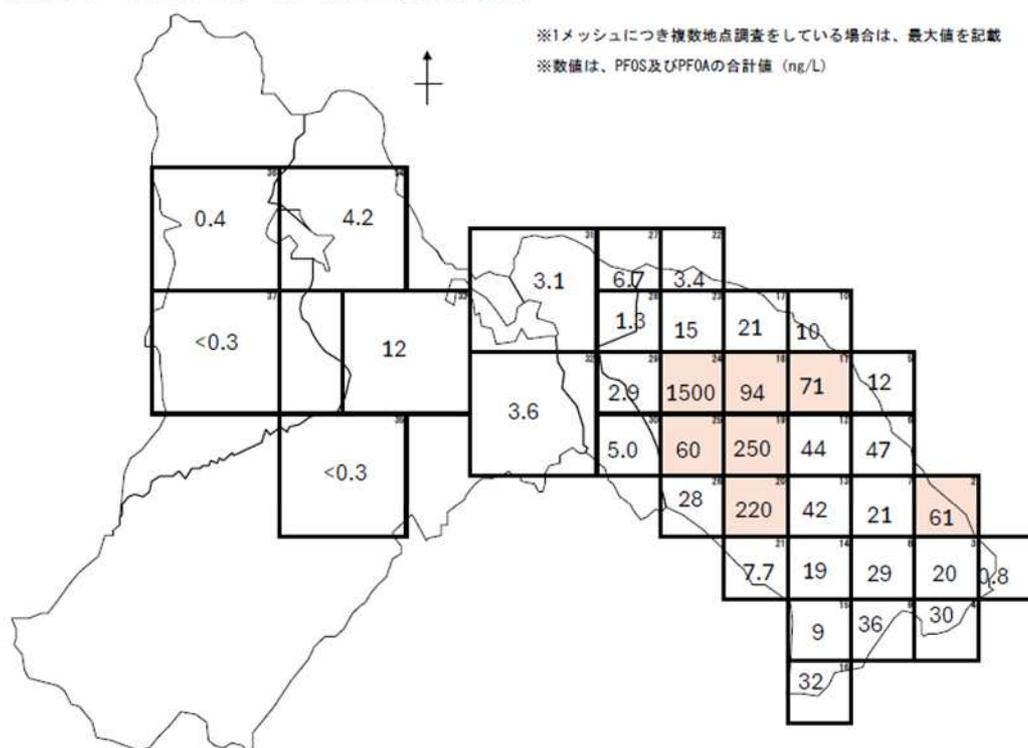


図2 地下水のPFOS等メッシュ調査結果

(2) 地形・地質について（中央区～南区）

相模原市は、相模川左岸に南北に細長く広がる相模原台地の北半分ほどを占めている。相模原台地は相模川に沿った3つの河岸段丘により構成されるなだらかな階段状の地形を呈しているのが特徴である。これらの段丘面は高い方（形成年代の古い方）から相模原段丘、田名原段丘、陽原段丘と呼ばれており、異なる段

丘面を境する段丘崖沿いには、上位の段丘側から地下水が湧出している。相模原面と田名原面の境付近を流れる鳩川、姥川、道保川、田名原面と陽原面の境付近を流れる八瀬川は、こうした湧水を主な水源としている。^{※2}

今回、市域全体の PFOS 等に係る状況把握調査の対象地点のうち特に高い濃度が検出された南橋本から上溝にかけてのエリアは、相模原段丘の中央から南西端にかけてのエリアである。また、道保川公園にある池は横山丘陵からの湧水及びくみ上げた地下水を水源とし、池の水はそのまま道保川へと流れている。^{※3}

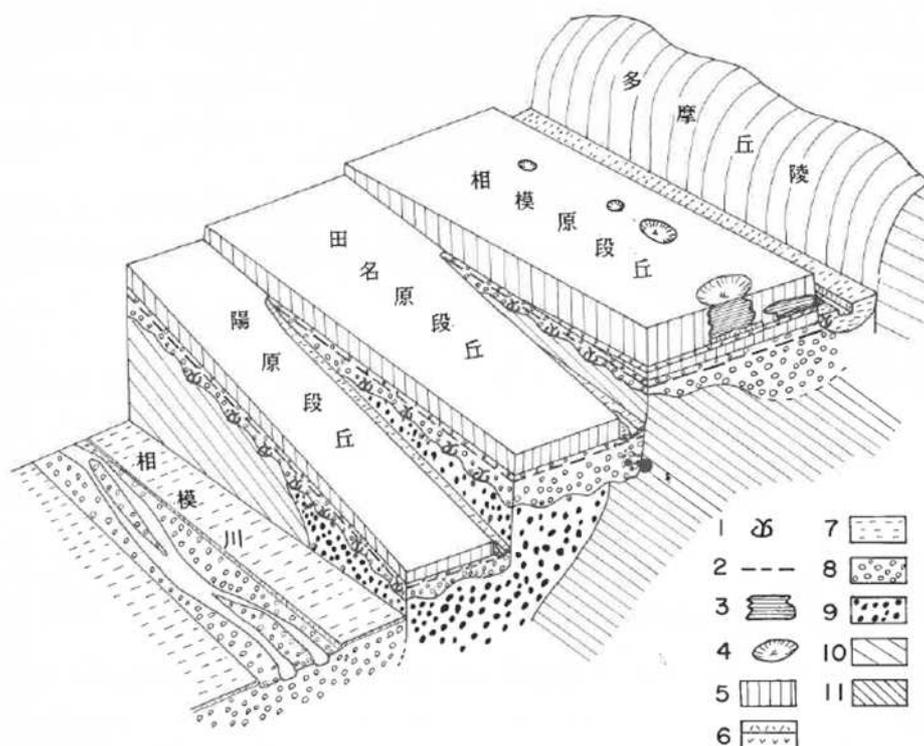


図3 相模原の湧泉と地下水の模式的図

1：湧泉，2：地下水面，3：宙水，4：凹地，5：テフラ（ローム），
6～8：段丘砂礫層，9～11：基盤層
相模原市地形・地質調査会（1985）

地質については、図4から読み取ると相模原段丘では主に地表から関東ローム層（20m程度）、河成砂礫層（20m程度）、^{かせいざれき}基盤からなる。関東ローム層（武蔵野ローム）は、比較的透水性の高い火山灰土であり、地下水はローム層下の砂礫層を主な帯水層としている。なお、相模原面における地下水面の勾配は平均 1/180 程度のため、地下水の流動する速度は 5m/日程度と見積もられている。^{※4}

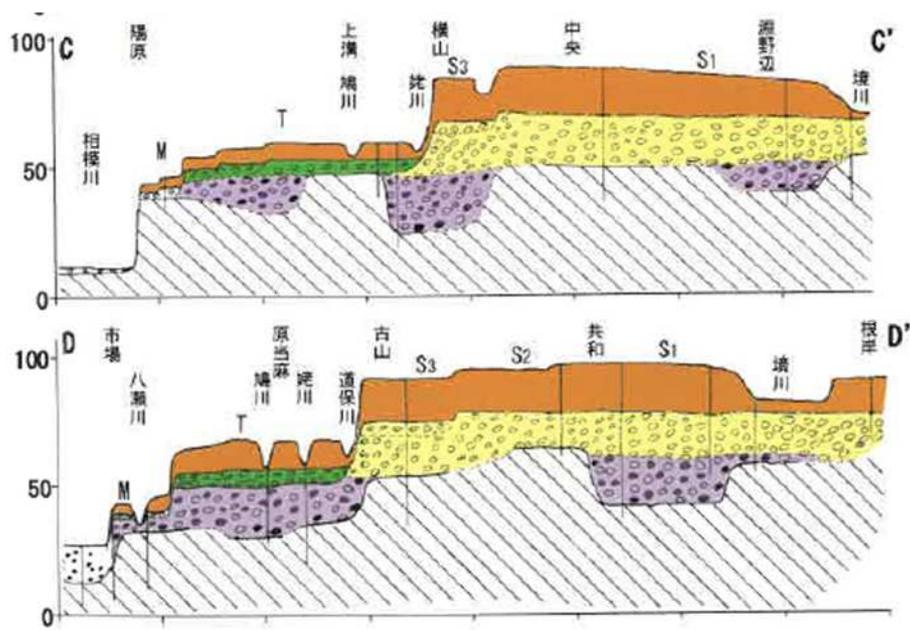


図4 相模原における段丘の横断面図

ローム層（褐色）の下の河成砂礫層には、段丘面をつくるもの（黄、緑）と基盤（斜線部）を掘り込んだかつての谷底を埋めた砂礫層（紫色）とがある。
相模原市総務局総務課市史編さん室（2009）

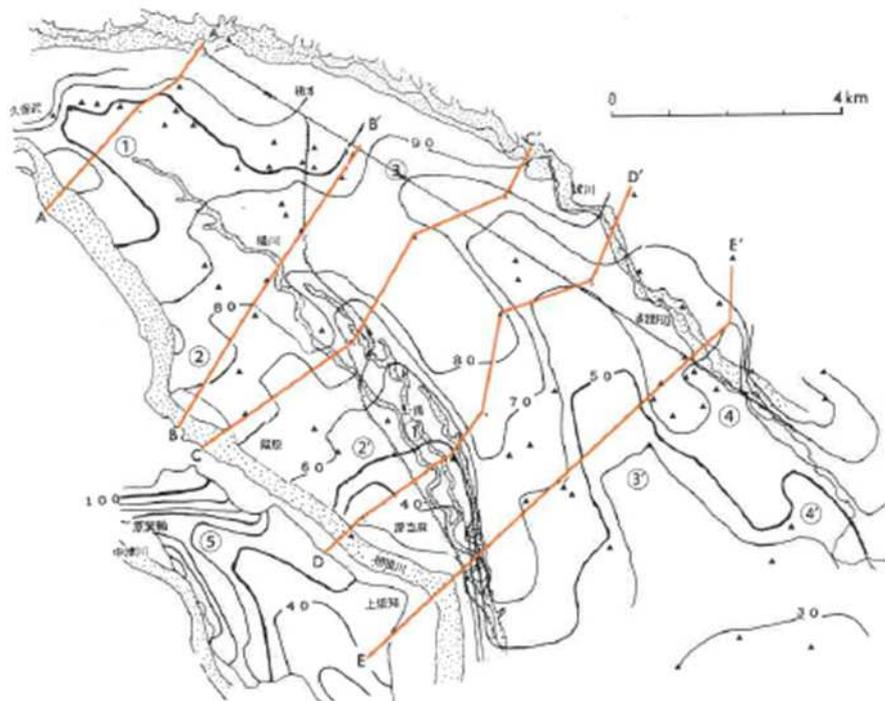


図5 相模原市における段丘砂礫層の基底の地形と横断面の位置
相模原市総務局総務課市史編さん室（2009）

(3) 地下水流動図

図6は温泉地学研究所(1994)^{*5}をもとに作成した相模原市内(相模原台地部)の浅層地下水の地下水位等高線図(赤色)で、背としては地形等高線(灰色)、河川(青)、鉄道路線(太い黒色)を示している。図中の水色の矢印は地下水位分布から算定したおおよその地下水流動方向を示してある。図6により、このエリア全体を俯瞰すると、それぞれの段丘内を北西から南東方向に向かう地下水の流れが確認できるほか、段丘崖付近では上位の段丘側から下位の段丘側に向かって地下水が流動している状況をも読み取ることができ、段丘崖沿いに地下水が湧出し河川を涵養している状況とも対応が見られる。

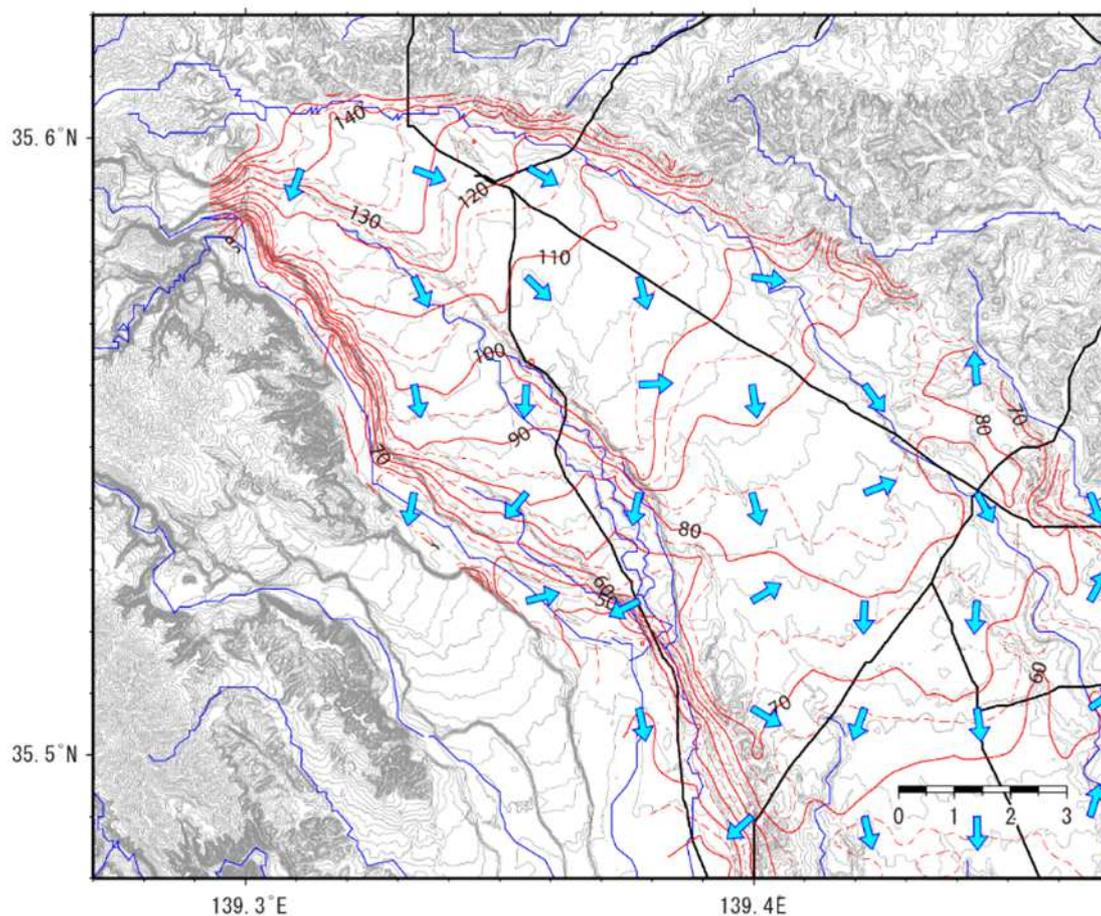


図6 地下水流動図

(4) 地下水中の主要溶存成分濃度 (ヘキサダイアグラム、トリリニアダイアグラム)

ア 地下水汚染の原因の究明方法の一つとして、地下水の水質解析法が挙げられる。地下水質の解析にはヘキサダイアグラムを用いる手法があり、地下水中の主な溶存イオン(ナトリウムイオン(Na^+)、カリウムイオン(K^+)など計8項目)の当量濃度を3本の水平軸上にプロットし、各点を直線で結んで図形を作成するものである。このダイアグラムから地下水質の特性が分かる。一般的に、降水は溶存成分が極めて少なく、河川水は Ca^{2+} 、 HCO_3^- などが主体とな

っていることが特徴とされている。地下水は帯水層中を長い時間流動すると、相対的に Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度が低くなり、 Na^+ 、 HCO_3^- が主要成分になる傾向がある。*6

今回、有機フッ素化合物の水質測定に合わせて溶存イオン成分の分析を中央区及び南区内の24地点で実施した。

イ 今回の調査結果をもとに作成したヘキサダイアグラムを地図にプロットしたものが図7である。水色が地下水、橙色が河川水を示しており、両者の形と大きさがほぼ同じであることから河川水の涵養源が主に地下水であることを示唆している。

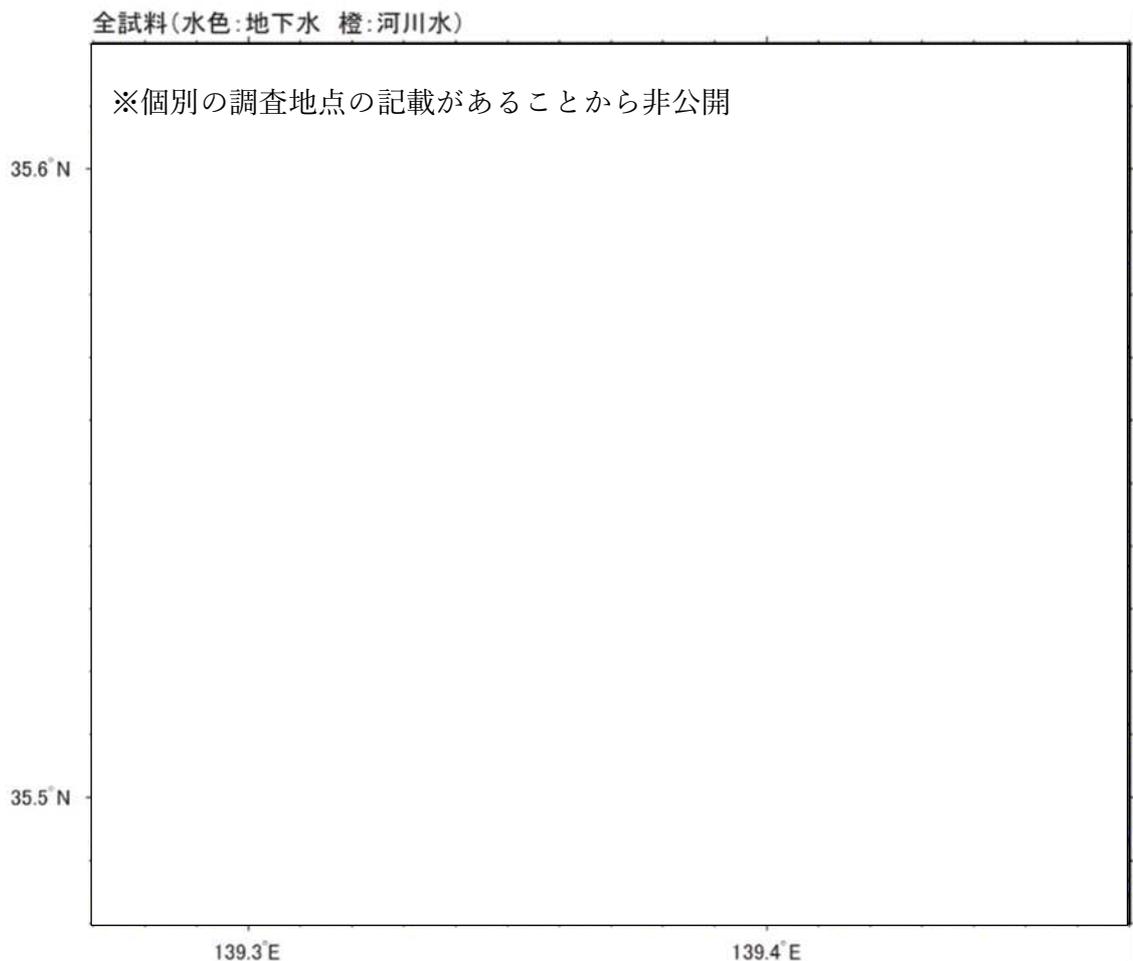


図7 ヘキサダイアグラム

ウ トリリニアダイアグラムは地下水などの水質組成を図示する方法の一つであり、この図を作成することにより、化学成分濃度の相対的な割合を知ることができ、試料ごとの主要溶存成分組成比の違いを示すことができる。

トリリニアダイアグラムによると、令和3年度から令和6年度までに調査した地下水は主に領域I ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型、浅層地下水に多く見られる水質組

成)及び領域V(中間の化学組成をもつ水)に分類されていた。

令和3年度は緑区下九沢から南区新戸までのエリアで調査を行っており、令和5年度の道保川公園周辺エリア、令和6年度の南橋本周辺エリアと比較すると、水質にばらつきがある結果であったが、全体としては、浅層地下水の水質であることが分かった。

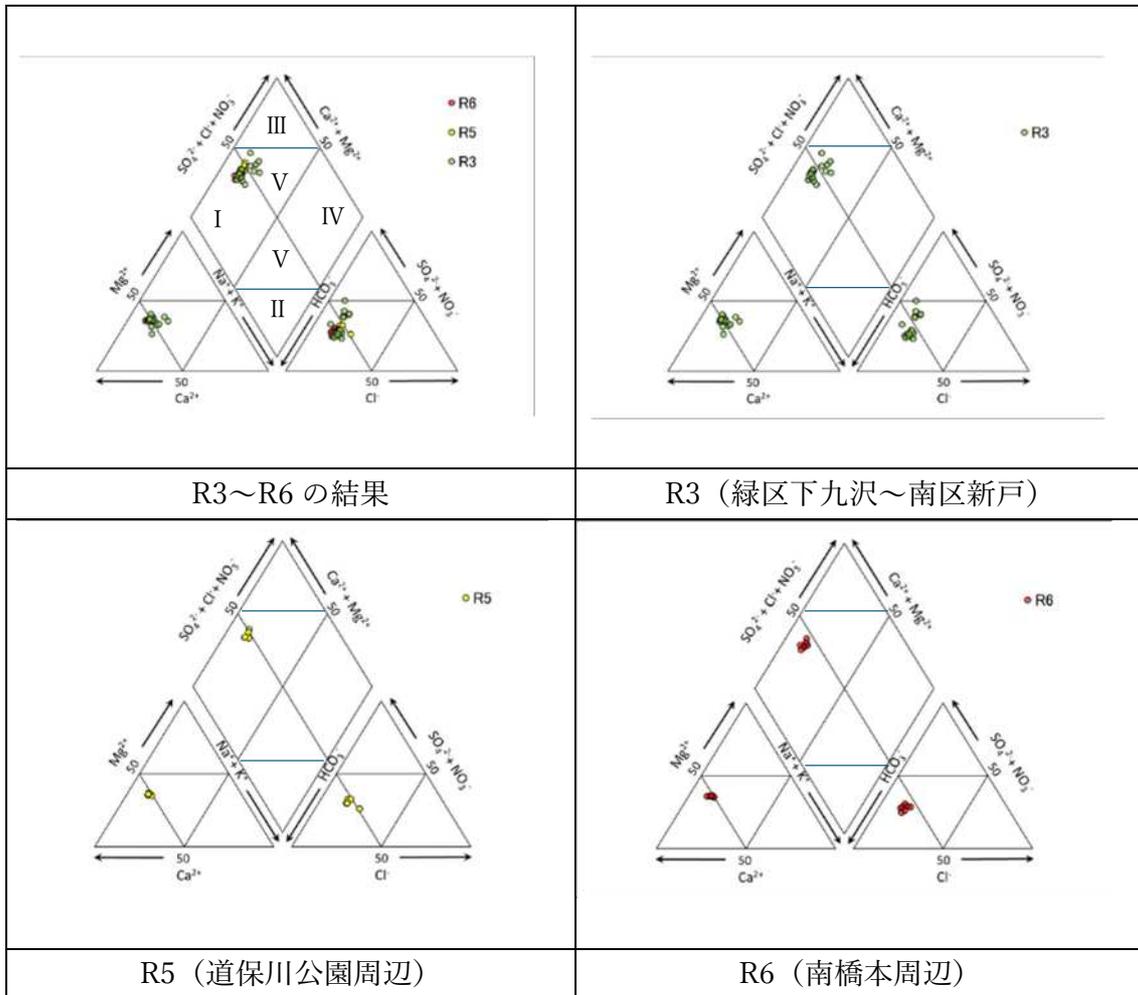


図8 トリリニアダイアグラム

(5) 地下水中の主要溶存成分濃度を用いたクラスター分析結果

ア 令和3~6年度の主要溶存成分の分析結果を標準化処理(データの平均を0、分散を1にスケールリングすること)したのち、クラスター分析を行った。クラスター分析とは、個々のデータをもとに似ているデータ同士を集めてクラスター(集団)を作る分析手法である。クラスター間の距離の測定にはWard法(クラスター内の分散が最も小さくなるように統合する手法)を採用した。

図9のとおり、4つのクラスターに分類された。クラスター0は主に陽原段丘^{みみはら}に位置し、クラスター1は主に田名原段丘に位置している。クラスター2及

びクラスター3は相模原段丘に分布する地点であった。これらのことから、同じ段丘面では水質が類似する傾向があり、相模原面においては井戸深度による水質の違いも見られることが分かった。

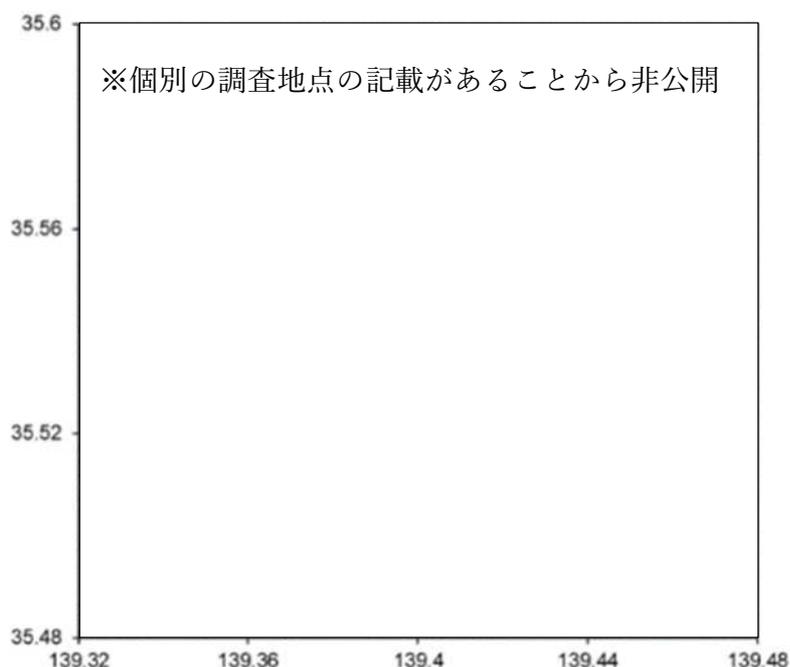


図9 クラスター分類状況

イ クラスター2及びクラスター3の井戸諸元、PFAS濃度は次のとおり。

表2 クラスター毎の井戸深度及びPFOS等濃度<クラスター2>

地点番号	所在地	井戸深度(ストレーナ位置)	PFOS (ng/L)	PFOA (ng/L)
109500	清新	不明(-)	16 (R6)	19 (R6)
106500	千代田	25.6 (-)	25 (R6)	5.1 (R6)
7900	大野台	50 (20-36.5)	35 (R3)	12 (R3)
78900	下九沢	80 (-)	19 (R6)	26 (R6)
46200	横山	深井戸(-)	270 (R6)	64 (R6)
C	道保川公園上流	-	270 (R5)	59 (R5)
46900	星が丘	深井戸(-)	330 (R5)	79 (R5)
A	道保川公園上流	-	240 (R3)	66 (R3)
5200	矢部	70 (-)	58 (R5)	14 (R5)
94500	小町通	100 (-)	550 (R6)	120 (R6)
3503	南橋本No.4	100 (-)	- (R5)	- (R5)
3504	南橋本No.5	30 (-)	29 (R5)	1400 (R5)
3506	南橋本No.7	60 (-)	- (R5)	- (R5)
B	道保川下流	-	290 (R3)	50 (R3)

110200	道保川公園井戸	不明（－）	180（R3）	41（R3）
67300	下九沢	14（－）	15（R3）	13（R3）
61800	相南	25（－）	19（R3）	10（R3）
12300	東林間	80（20-42）	12（R3）	8.3（R3）
110400	橋本台	30（－）	3.5（R6）	6.8（R6）
7500	並木	50（－）	35（R3）	9.2（R3）
5300	中央	100（－）	23（R3）	9（R3）
76900	下溝	60（－）	34（R3）	7.6（R3）

表3 クラスター毎の井戸深度及びPFOS等濃度<クラスター3>

地点番号	所在地	井戸深度（ストレーナ位置）	PFOS（ng/L）	PFOA（ng/L）
4800	南橋本	60（－）	330（R6）	220（R6）
108500	上溝	浅井戸（－）	180（R3）	71（R3）
5000	清新	108（40-50）	69（R5）	19（R5）
87900	新磯野	深井戸（－）	17（R3）	19（R3）
18500	橋本	40（－）	17（R6）	8.5（R6）

クラスター2及びクラスター3の間に濃度の差は確認できなかった。なお、クラスター0及びクラスター1には、指針値超過地点はなかった。このことから、指針値超過地点の広がり、異なる段丘面には広がっていないことが推察できる。

(6) 地下水中のPFAS濃度分布

ア 相模原段丘エリアの地下水について上述のクラスター毎にPFOS及びPFOAそれぞれの濃度分布図（濃度の等値線図）を作図した。等値線の作図にあたっては、緯度経度0.01度（約1km）間隔でメッシュを設定し、調査地点のデータのほか、調査地点以外の濃度を0と仮定して作成したグリッドデータを用い、GMT（Generic Mapping Tools；Wessel and Smith、1998）のsurfaceコマンドにより、各点のデータから滑らかな曲面を推定しデータの補間を行った。なお、同一地点で複数年データがある場合は、一番新しいデータを採用した。地下水中の物質は常に流動、拡散していると考えられるため、複数年のデータから作成した等値線は実際の濃度分布を反映していない可能性があることに留意が必要である。

クラスター2については、PFOS及びPFOAのどちらも高濃度域が南橋本から道保川周辺まで細長く広がっている状況が把握できる。また、指針値超過エリアが矢部とつながっているように見受けられるが、作図法の影響による見か

けのものである可能性がある。

クラスター3については、周囲と比較すると濃度が高いエリアが2つあるが、クラスター3に該当する井戸が少ないため、このような見え方になっている可能性がある。

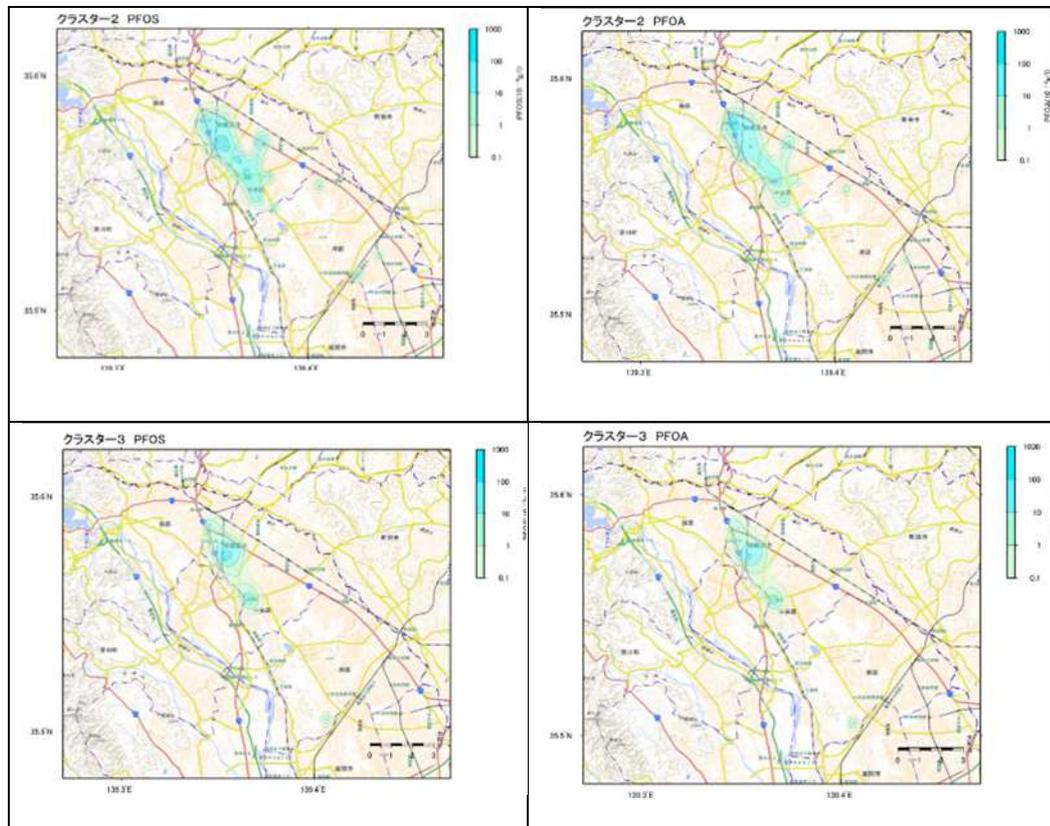


図10 クラスタ毎のPFOS等濃度分布図

イ 相模原段丘の地下水の流れとPFOS等濃度分布図を重ね合わせた図11を作成したところ、PFOS及びPFOAのどちらも地下水の流れに沿って拡散している可能性がうかがえる。その場合、道保川へ流出している湧水中の汚染物質は、南橋本から南東方向に広がる指針値超過エリアに由来する可能性が考えられる。一方、矢部地域に見られる指針値超過エリアとの関連については調査地点が少ないため不確実である。

濃度については、PFOSは相模線よりも東側に比較的濃度が高いエリアが複数箇所あり、PFOAは相模線をまたいで比較的濃度が高いエリアが広がっている。

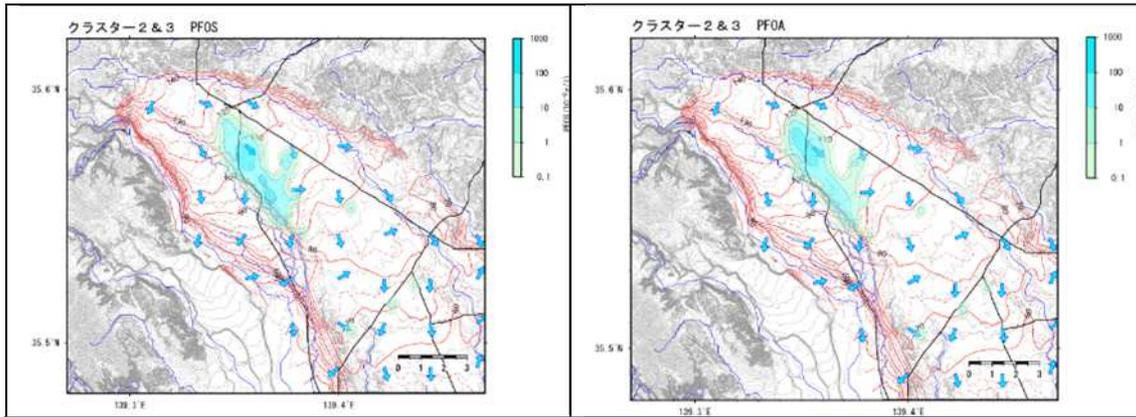


図1-1 地下水の流れとPFOS等濃度分布図

4 総括

今回の解析では、令和3年度～6年度の地下水調査結果を基に等濃度分布図を作成し、相模原台地の地下水流動を踏まえ、地下水中のPFOSおよびPFOAの現状についてまとめた。その結果、地下水の流れに沿うように指針値を超過した地点が分布しており、地下水の流れに沿ったPFOSおよびPFOAの拡散が生じている可能性が考えられるものの、本調査では調査地点数が限られるため、PFAS供給源の特定には至らなかった。今後、指針値超過エリアから道保川公園に至るまでの範囲の濃度分布を明らかにするには、その周辺の調査地点数を増やすなど更なる調査が必要である。

5 今後の調査方針

これまでの調査の結果、道保川公園におけるPFOS等の指針値超過は、同公園で利用されている湧水の涵養源とみられる相模原段丘側の地下水が影響している可能性が考えられる。相模原段丘の地下水の指針値超過原因の究明に向けては、PFOS等の等値線図から、複数の比較的濃度が高いエリアが確認できたが、多年度の測定値によるものであるため、現時点の実際の濃度分布と異なる可能性があることに留意が必要である。また、例えば道保川公園下流水路では、図1-2のとおりPFOS等の濃度はわずかに減少傾向にあるが、指針値を下回る濃度には至っていない。これらのことから、今後も指針値超過地点の継続監視を行う必要があると考える。

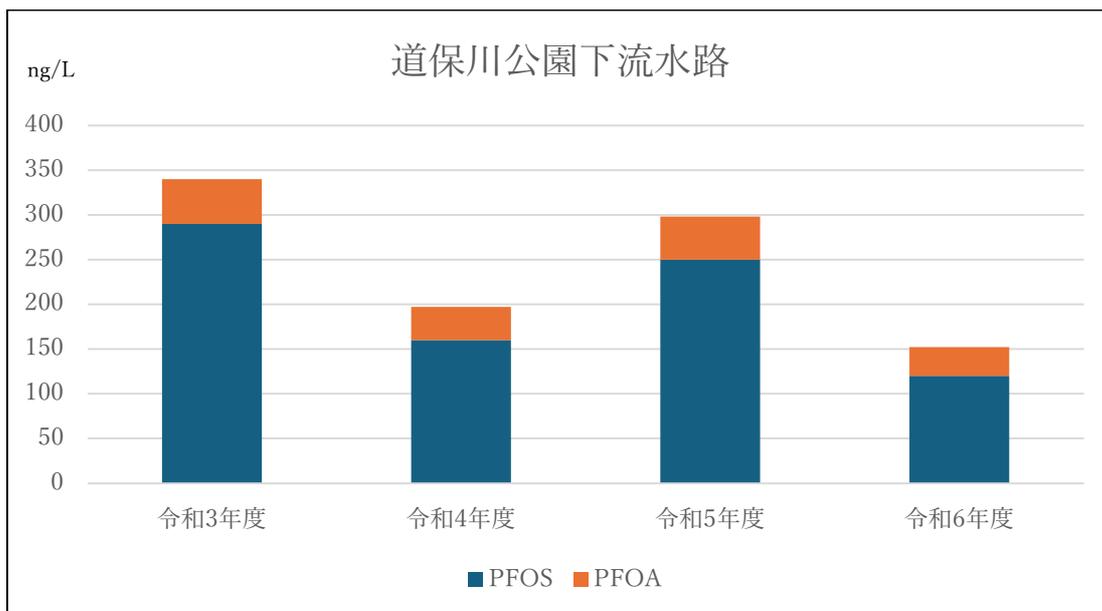


図 1 2 道保川公園下流における経年変化

6 その他

本報告書の作成にあたり、神奈川県温泉地学研究所に協力をいただいた。

(参考文献)

- ※ 1 有機フッ素化合物 (PFOS・PFOA) 測定結果【鳩川水系】
<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/72746/hatogawa.pdf>
- ※ 2 相模原市地形・地質調査会 (1985) : 相模原の地形・地質調査報告書 (第 2 報) p.41
- ※ 3 相模原市総務局総務課市史編さん室 (2009) : 相模原市史自然編 p.186
- ※ 4 相模原市総務局総務課市史編さん室 (2009) : 相模原市史自然編 p.178
- ※ 5 温泉地学研究所(1994) : 神奈川県地下水位分布図
- ※ 6 国土交通省 HP 大井川水資源利用への影響の回避・低減に向けた取組み (JR 東海資料) <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001446163.pdf>

以 上