

「有機フッ素化合物環境中残留実態調査事業」  
汚染源調査に係る専門家会議

報 告 書

令和4年2月

沖 縄 県

## < 目 次 >

1. はじめに.....	1
1.1 専門家会議の趣旨及び目的.....	1
1.2 専門家会議の構成.....	1
2. 汚染源の推定及び絞込みに関する検討事項 .....	2
2.1 検討事項.....	2
2.2 検討の経緯.....	2
3. 汚染源の推定及び絞込みに関する検討結果 .....	3
3.1 PFOS 等の検出状況 .....	3
3.2 汚染源検討に係る諸元整理.....	6
3.3 汚染メカニズムと汚染源の推定及び絞込み.....	10
4. 汚染源の特定に向けた今後の課題 .....	11

### 巻末資料

資料 1 委員名簿

資料 2 専門家会議設置要綱

資料 3 議事概要

## 1. はじめに

### 1.1 専門家会議の趣旨及び目的

有機フッ素化合物である PFOS 及び PFOA については、全国の公共用水域や地下水での検出状況等から令和2年5月に環境省が人の健康の保護に関する要監視項目に位置づけ、暫定指針値として 50ng/L（以下「暫定指針値」という）を設定したところである。

沖縄県は、平成28年度から県内の河川や湧水等で有機フッ素化合物の残留実態調査を行っており、これまでの調査において普天間飛行場北西側（地下水下流側）の湧水等から、暫定指針値を超過する高濃度の有機フッ素化合物が継続して検出されている。

普天間飛行場は、これらの検出状況に加えて返還が予定されていることから、早期に汚染源の特定を図り、原因者へ対策等を求めて行く必要がある。そのため、本事業において同飛行場周辺における有機フッ素化合物の水質調査結果や地形・地質に関する資料等をもとに汚染実態を把握し、汚染源の推定及び絞込みを行うことを目的として「有機フッ素化合物環境中残留実態調査事業」汚染源調査に係る専門家会議（以下「本専門家会議」という）を設置した。

### 1.2 専門家会議の構成

本専門家会議は、環境水理学、地下水工学、環境科学、応用地質学等の分野について、知見を有する学識経験者より成る委員をもって構成した。

本専門家会議の委員名簿を資料1に、設置要綱を資料2に収めた。

## 2. 汚染源の推定及び絞込みに関する検討事項

### 2.1 検討事項

本専門家会議は、前項に示した趣旨及び目的を達成するため、次の事項について検討した。

- ① 既存資料の取りまとめ結果に基づく、普天間飛行場周辺における地下水の有機フッ素化合物の汚染整理及び評価に関すること
- ② 普天間飛行場周辺における有機フッ素化合物の汚染源の推定及び絞込みに関すること

### 2.2 検討の経緯

本専門家会議における検討の経緯を表 2.1 に示し、会議の議事概要は資料 3 に収めた。

なお、新型コロナウイルス感染症対策のため、会議は全てウェブ形式にて実施した。

表 2.1 専門家会議における検討の経緯

開催日	議事内容
第 1 回 令和 3 年 9 月 6 日 (月)	(1) 普天間飛行場周辺湧水等における有機フッ素化合物の検出状況 (2) 有機フッ素化合物汚染に係る課題 (3) 汚染源の検討・推定に必要な作業内容 (4) その他
第 2 回 令和 3 年 11 月 19 日 (金)	(1) 普天間飛行場周辺湧水等における PFOS 等の検出状況 (報告) (2) 想定される汚染シナリオ (審議) (3) 汚染源検討に係る PFOS 等の諸元整理 (報告) (4) 想定される汚染メカニズム (審議) (5) その他
第 3 回 令和 4 年 1 月 27 日 (木)	(1) PFOS 等の検出状況と汚染源検討に係る諸元整理 (報告) (2) 汚染メカニズムと汚染源の推定及び絞込み (審議) (3) その他 (令和 4 年度以降の実施方針など)

### 3. 汚染源の推定及び絞込みに関する検討結果

#### 3.1 PFOS等の検出状況

本報告書では、有機フッ素化合物のうち普天間飛行場周辺で継続的に調査を実施している PFOS、PFOA、PFHxS、6:2FTS の4物質を「PFOS等」と称す。沖縄県が実施した平成28年度から令和3年度（夏季）までの「有機フッ素化合物環境中残留実態調査」及び本専門家会議で実施した調査結果を図3.1～図3.3に示す。図3.1はPFOS等の濃度分布と宜野湾市「平成16年度宜野湾市自然環境調査」に示される地下水流域区分を重ね合わせて作成した。

普天間飛行場内を經由した地下水下流側では、PFOS等が1,000ng/Lを超える濃度で検出される地点が、C流域とE流域に分布していた。

PFOS、PFOA、PFHxSの濃度は比較的変動幅が小さく、同一地点での濃度上昇・低下の傾向は概ね一致していた。

6:2FTSの濃度は他の3物質と比較して変動幅が大きく、C流域、D流域の地下水下流側では2020年9月に濃度や構成比率の上昇、2021年8～9月に濃度低下が確認された。E流域では大きな濃度上昇や構成比の変化は確認されなかった。

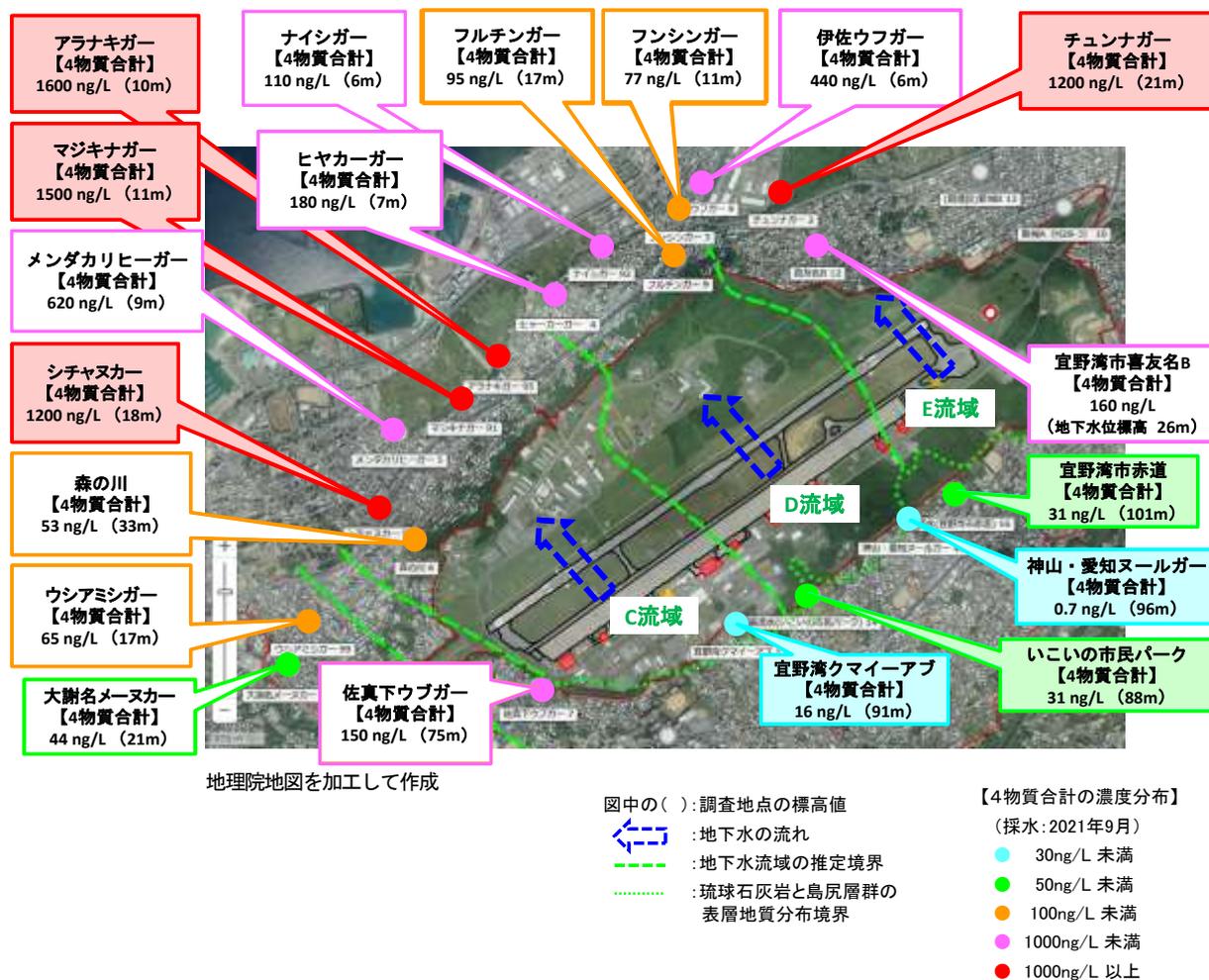


図3.1 地下水流域界とPFOS等の濃度分布 (4物質の合計値)

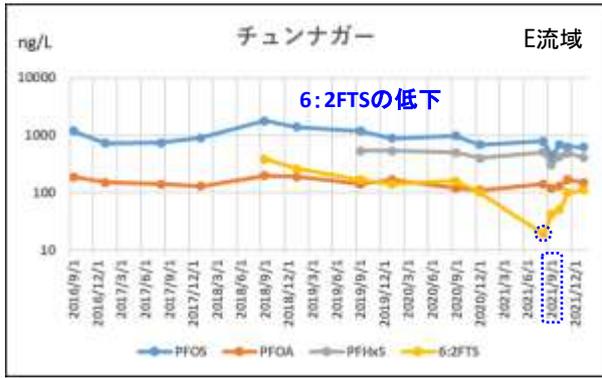
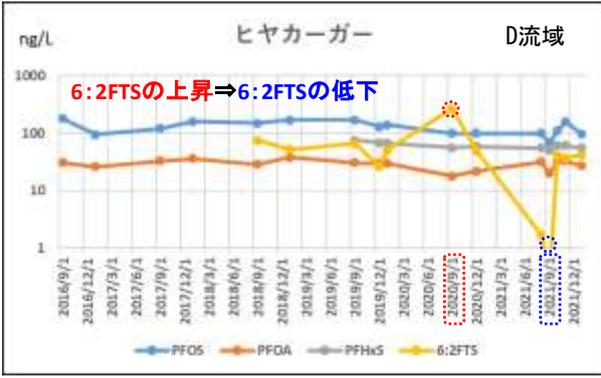
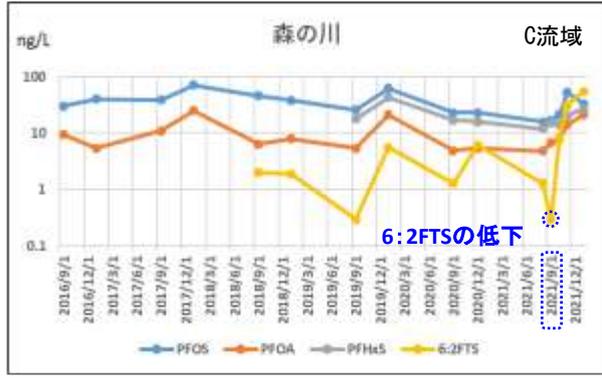
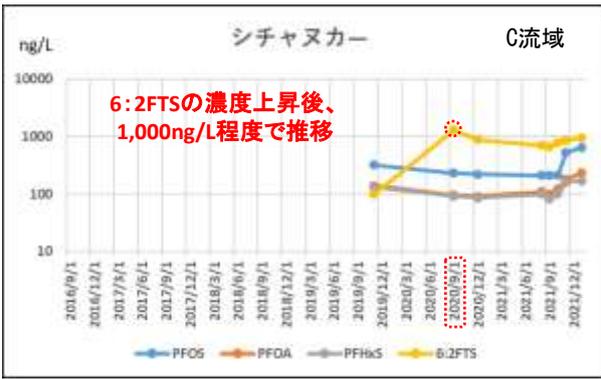
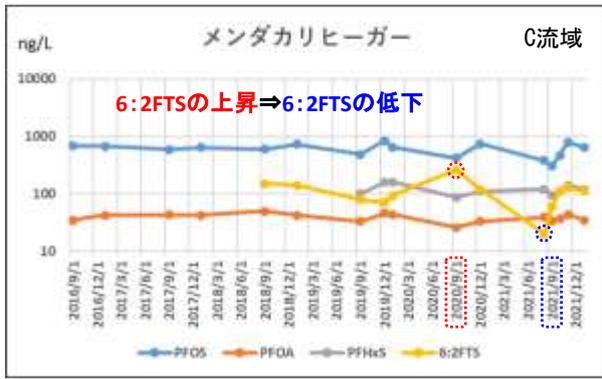


図 3.2 PFOS 等濃度の経時変化 (代表地点)

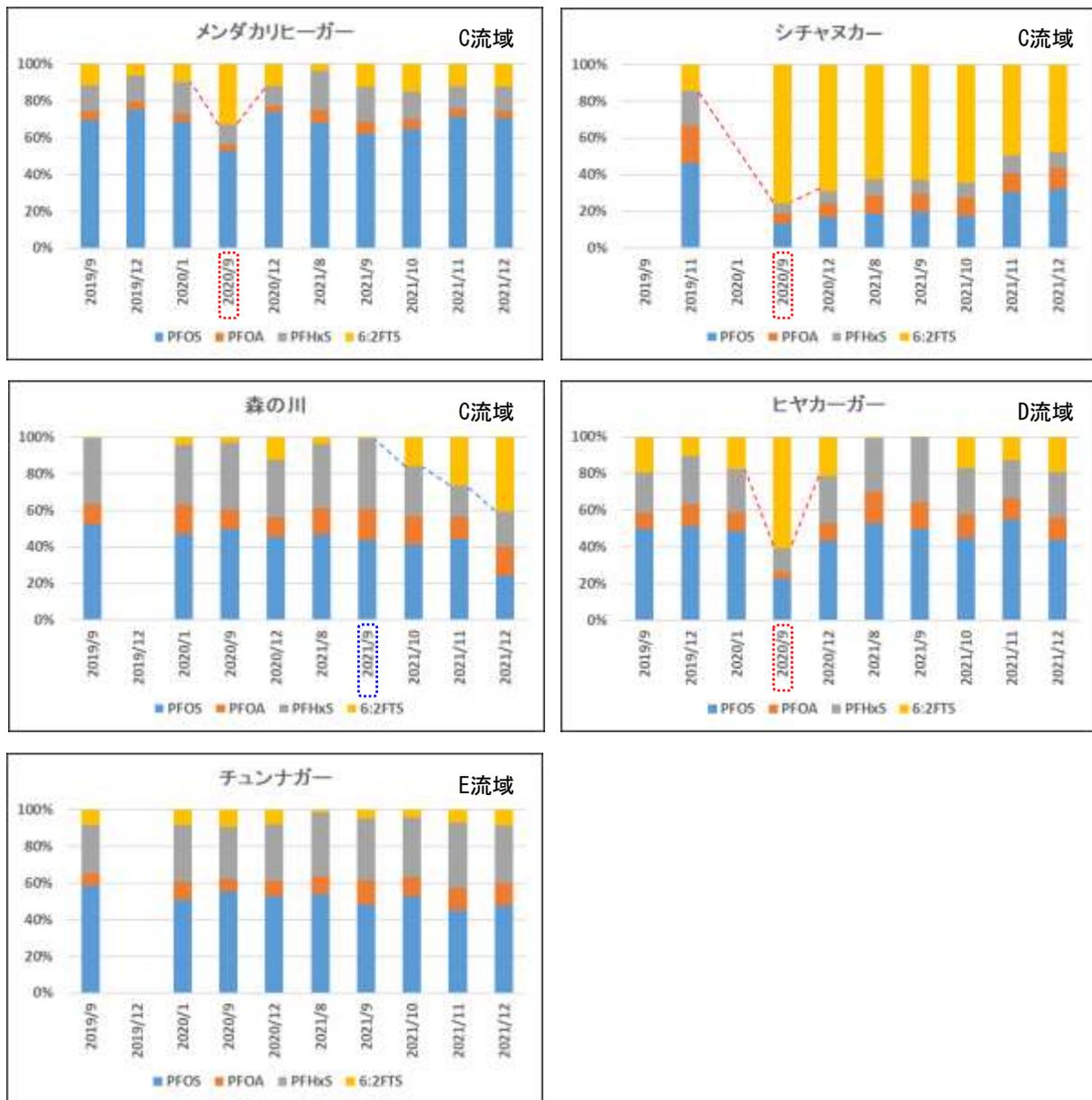


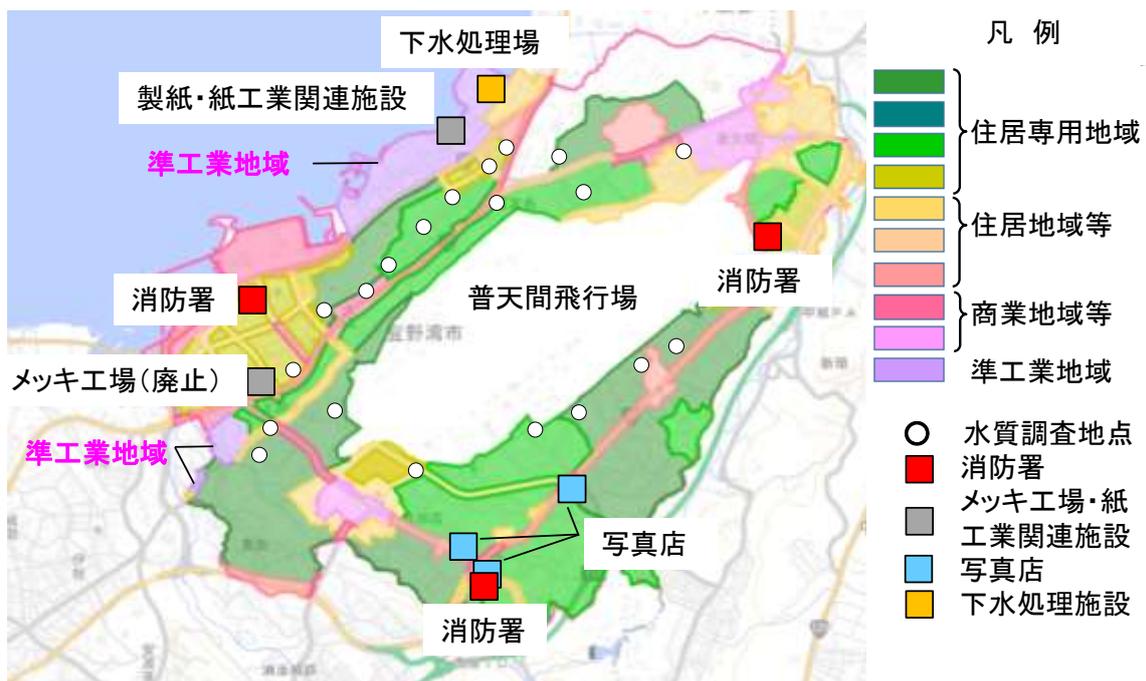
図 3.3 PFOS 等の構成比 (代表地点)

### 3.2 汚染源検討に係る諸元整理

PFOS 等の使用や地盤中の移動に関し、以下の（１）～（４）の項目に区分して資料を収集・整理した。

#### （１）PFOS 等の排出源

普天間飛行場周辺では、同飛行場、宜野湾市消防署、写真店、製紙・紙工業関連施設、金属メッキやエッチング関連施設、下水処理場が PFOS 等の排出源となり得る箇所に該当し、そのうち PFOS 等の水質調査地点より地下水の上流側には、普天間飛行場、宜野湾市消防署、写真店が確認された。



用途地域マップ (<https://cityzone.mapexpert.net/>) を加工して作成

図 3.4 普天間飛行場周辺における PFOS 等の排出源となり得る箇所

#### （２）PFOS 等含有物の使用等状況

PFOS 等の排出源となり得る箇所の PFOS 等含有物の使用等の状況を一般公表されている資料等から確認した。

宜野湾市消防署の泡消火薬剤については、宜野湾市消防本部へヒアリングを行い、泡消火薬剤の使用履歴が無いことを確認した。

写真感光剤、表面処理剤、金属メッキについては、水質汚濁防止法に係る特定事業場の情報から PFOS 等含有物の使用等に関する情報は確認されなかった。

PFOS 等が含まれる可能性がある航空機の作動油や洗浄剤については、普天間飛行場での使用が考えられるが、これらの使用等に関する情報については確認されなかった。

普天間飛行場の泡消火薬剤については、米軍の公表資料や流出に係る調査結果資料等から消火訓練施設や格納庫で泡消火薬剤の使用、保管、流出事故の発生が確認された。

表 3.2 普天間飛行場周辺で使用等される可能性のある PFOS 等含有物

PFOS 等含有物	排出源と 考えられる場所	使用等の履歴	使用等に関して確認した資料
泡消火薬剤	普天間飛行場	使用・保管・廃水流出 の履歴あり	米軍公表資料 流出に係る調査結果 他
	宜野湾市消防署	使用履歴なし	宜野湾市消防本部へのヒアリング
航空機の作動 油や洗浄剤	普天間飛行場	不明	米軍からの「沖縄防衛局への覚書」 に対する疑義照会
写真感光剤	写真店	不明	水質汚濁防止法特定事業場台帳
表面処理剤	製紙・紙工業関連施設	不明	水質汚濁防止法特定事業場台帳
金属メッキ	金属メッキや エッチング関連施設	不明	水質汚濁防止法特定事業場台帳

表 3.3 普天間飛行場で使用された泡消火薬剤と消火訓練等\*1

泡消火薬剤の使用年代	消火訓練*2	普天間飛行場での事故等
1970 年代～2015 年頃 ・古いタイプの泡消火薬剤を使用 (レガシーPFOS 泡消火薬剤)	・2014 年 5 回 ・2015 年 3 回 ・2016 年 2 月まで 2 回	・2005～2009 年に少なくとも 3 回、計 2,700L の泡消火薬剤を含む水*3 が流 出
2016 年頃～2021 年 8 月 ・新しいタイプの泡消火薬剤 (モ ダンフルオロテロマー泡消火 薬剤) への入替え期間 ・古いタイプの泡消火薬剤も残存	・2016 年 3 月以降、消火 訓練には水を使用 ・2016 年 3 月以降 4 回 ・2017 年 5 回 ・2018 年 4 回 ・2019 年 2 回 ・2020 年 1 回 ・2021 年 8 月まで 2 回	・2019 年 8 月、PFOS 等を含む泡消火薬 剤 378L がタンクから漏出 ・2019 年 12 月に 95,000～114,000L の 泡消火薬剤を含む水*3 が発生し、一 部が飛散または雨水管に流出 ・2020 年 1 月、泡消火薬剤 128L のう ち少量が飛行場外へ流出 ・2020 年 4 月に 227,100L の泡消火薬 剤を含む水*3 が発生し、そのうち 143,830L が飛行場外へ流出 ・2021 年 8 月に PFOS 等を含む水*3 64,000L を下水へ放出
2021 年 9 月～ ・新しいタイプの泡消火薬剤への 入替え完了 (2021 年 9 月)	・2021 年 10 月まで 1 回	・2021 年 10 月 7 日、地下貯水槽に貯 留していた PFOS 等を含む水*3 360,000L を防衛省が引取りを完了

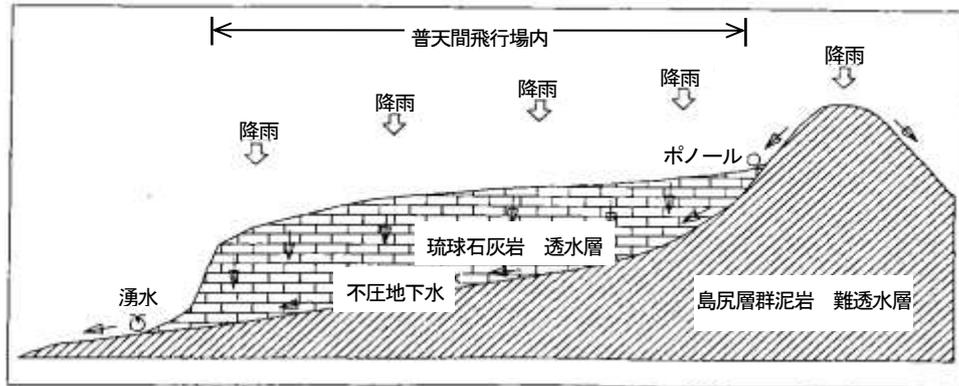
\*1 米軍、米国会計検査院、宜野湾市の公表資料、新聞報道、雑誌記事等から作成。

\*2 消火訓練は宜野湾市が米軍側から実施の報告を受けた件数であり、消火訓練が中止になったものもある。

\*3 宜野湾市の公表資料、新聞報道、雑誌記事等には、流出した泡消火薬剤を含む水や PFOS 等を含む水の性状について詳しい記載はないが、放出された泡消火薬剤やそれらの除去で使用した水の混合水が考えられる。

### (3) 地表部から地下への浸透

普天間飛行場周辺の降雨は、主に地表面から琉球石灰岩層を浸透して地下水となり、難透水層である島尻層群泥岩の上面に沿って概ね南東から北西方向に流下し、普天間飛行場の北西で湧出すると考えられる（図3.5を参照）。



出典：宜野湾市 平成13年度宜野湾市自然環境調査-手法検討調査-報告書 平成14年3月、資料編、資料-1に加筆して作成

図3.5 模式的な水理地質構造と降雨の流出形態

降雨の浸透源の大部分は普天間飛行場内であり、普天間飛行場の格納庫や消火訓練施設で泡消火薬剤等を使用した場合、それらの場所周辺の草地から地下へ浸透する可能性がある。また、沖縄県文化環境部「在沖米軍基地周辺環境マップ 普天間飛行場（平成15年3月）」で示される飛行場内の地表水の流動状況によると、水路等の排水施設が舗装や建物と隣接している場合、飛行場南側の格納庫周辺の排水施設に集水された地表水は比屋良川に流出すると考えられる。飛行場中央の格納庫周辺の地表水は排水施設を経由して吸込穴（ポノール）から地下水D流域に浸透すると考えられる。消火訓練施設周辺の地表水は排水施設を経由し地下水E流域に浸透すると考えられる（図3.6を参照）。

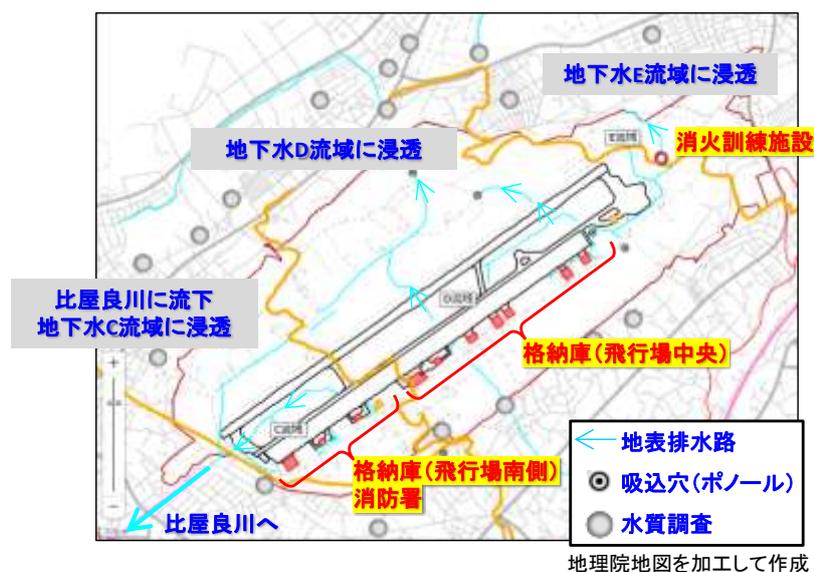


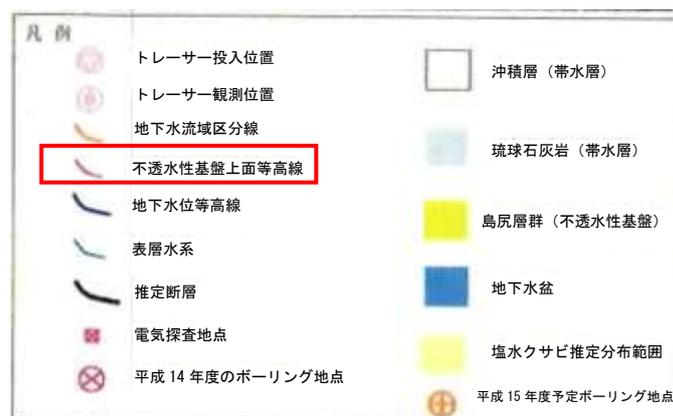
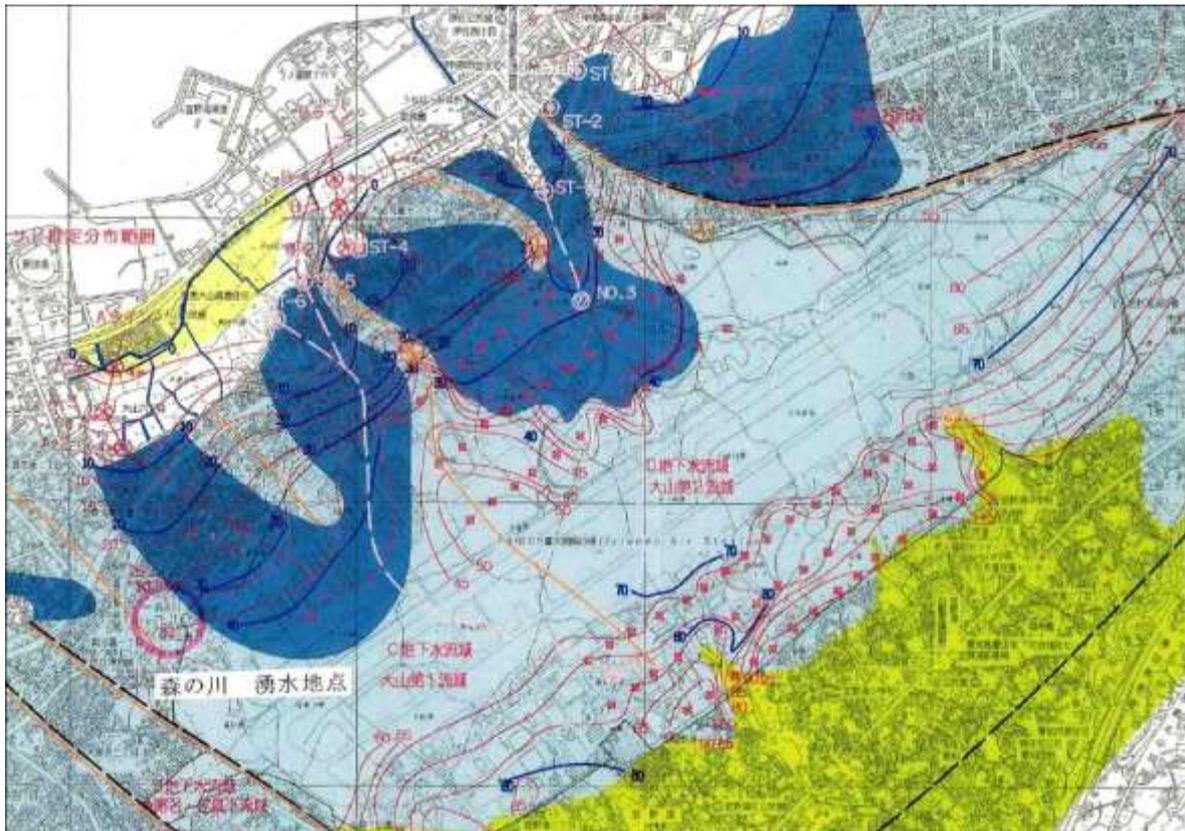
図3.6 普天間飛行場の地表水の動きと地下への浸透

#### (4) 地下水によるPFOS等の移動

琉球石灰岩中の地下水面に到達したPFOS等は地下水と共に島尻層群の上面に沿って飽和帯（地下水面より下位の地盤）を移動すると考えられる。

「宜野湾市自然環境調査」等の既往調査資料では、普天間飛行場周辺の地下水は、大きく3つの地下水流域（C、D、E）に区分されている（前出の図3.1を参照）。

また、ボーリングや電気探査、トレーサー等の調査結果から推定された島尻層群の上面標高等高線図や地下水位等高線図を合成した水文地質図（図3.7を参照）が作成されている。



出典：宜野湾市. 平成14年度宜野湾市自然環境調査報告書. 平成15年3月, p91, 図6-6

図3.7 普天間飛行場周辺の水文地質図

### 3.3 汚染メカニズムと汚染源の推定及び絞込み

前節で把握した事項をもとに、PFOS等の汚染源や汚染メカニズムについて検討した。

現段階でPFOS等含有物の使用等が確認されたのは、普天間飛行場における泡消火薬剤であった。

普天間飛行場で使用等された泡消火薬剤中のPFOS等が、普天間飛行場北西側（地下水下流側）の湧水で暫定指針値（50ng/L）を大幅に超過して検出されていると仮定すると、以下の汚染メカニズムが想定される。

#### ① PFOS等による汚染発生

- ・普天間飛行場の格納庫や消火訓練施設でPFOS等の使用、漏洩、流出等が生じる（仮定）。

#### ② 地下浸透

- ・環境中に放出されたPFOS等は地表水に含まれ、一部は地表面等や吸込穴（ポノール）から地下に浸透し、一部は河川等へ流出する。
- ・地表面から地下に浸透したPFOS等は、降雨の浸透と共に下方へ移動する。また、一部は不飽和帯（地下水面より上位の地盤）の土壤に吸着して残留する。
- ・吸込穴（ポノール）へ放流されたPFOS等を含む表流水は、地盤中の亀裂・間隙へ浸透すると共に、表流水の一部は直接地下水面に到達する。

#### ③ 地下水流動（飽和帯）

- ・地下水面に到達したPFOS等は地下水と共に飽和帯（地下水面より下位の地盤）を移動する。
- ・地下水流速の速い飽和帯に到達したPFOS等は、比較的短期間に下流側の湧水・地下水へ到達すると推定される。
- ・地下水流速の遅い飽和帯に到達したPFOS等は、年単位の長い時間をかけ下流側の湧水・地下水へ到達すると推定される。

#### ④ 湧水・地下水（普天間飛行場北西側）

- ・湧水や地下水で暫定指針値（50ng/L）を超過したPFOS等が検出される。

## 4. 汚染源の特定に向けた今後の課題

本専門家会議では、普天間飛行場周辺における有機フッ素化合物の既存調査結果や同飛行場周辺の地形・地質に関する資料等を収集及び整理したデータ等に基づき、PFOS等の汚染メカニズムや汚染源の推定及び絞込みを行った。

しかし、現段階では汚染メカニズムや汚染源を特定する裏付けとなる科学的なデータが不足している。汚染源の特定に向けて、今後は以下に関するデータ等を蓄積していくことが重要である。

### ① 水質モニタリングデータ

- ・月1回程度の水質モニタリング調査を継続し、PFOS等の濃度変動のデータを蓄積する。
- ・蓄積したPFOS等の濃度や構成比のデータから、降雨量、地下水位変動、PFOS等の使用状況との関連性を考察する。

### ② 継続して高濃度で検出されているPFOS等の供給源に関するデータ

- ・地盤中に浸透したPFOS等の挙動に関する物理化学データや浸透が想定される場所の地盤データの収集に努める。
- ・地盤中への継続的な供給が想定されるPFOS等含有製品の使用等に関する情報を収集する。
- ・得られたデータや情報から、湧水等から検出されるPFOS等の供給源を推定する。

### ③ 普天間飛行場周辺の地質と地下水位に関するデータ

- ・既往資料で整理されている島尻層群の上面形状を精査する。ボーリングコア試料による地質区分の確認と旧地形図との整合性等について検証する。
- ・普天間飛行場周辺の地下水位データや琉球石灰岩の透水性に関するデータを収集する。
- ・得られたデータをもとに、普天間飛行場周辺の地下水流域や地下水流動を検証する。
- ・普天間飛行場周辺の島尻層群上面の形状と地下水流動を把握する。

以上