

第5章 地下水・土壌汚染等に関する対応

5.1 基本的事項

5.1.1 地下水・土壌汚染調査に関する対応の必要性

沖縄の米軍基地の返還時には、跡地利用推進法において、国が返還後において当該土地を利用する上での支障除去措置を当該土地の所有者等に当該土地を引き渡す前に講ずることが定められている。

この支障除去は、返還実施計画に基づき実施され、返還実施計画は、あらかじめ、沖縄県知事及び関係市町村長の意見を聴いた上で国が定めることとされている。また、返還実施計画には、調査を行う区域の範囲、調査の方法、調査に要すると見込まれる期間及び調査の結果に基づいて国が講ずる措置に関する方針を盛り込むこととされている（跡地利用推進法の該当箇所の条文は参考資料 1.1 節に掲載）。

地下水・土壌汚染等に関する対応としては、土壌汚染対策法（平成 14 年 5 月 29 日法律第 53 号）の特定有害物質及びダイオキシン類対策特別措置法（平成 11 年 7 月 16 日法律第 105 号）の対象であるダイオキシン類による土壌汚染のほかに米軍基地特有の土壌の汚染についても適切な措置を講ずる必要がある。

米軍基地では、軍事基地であるが故に国内の一般地域ではみられない用途に化学物質が利用されていること及び一般地域では通常使用されない化学物質が使われていることが想定される。国内の一般地域においては、化学物質の管理に関する様々な国内法令等による規制が課せられ、それらに基づく施策が実施された中で化学物質が利用されている。他方、米軍には、それら化学物質の利用に関する国内法令等は原則として適用されない。すなわち、土壌汚染対策法やダイオキシン類対策特別措置法では米軍基地特有の化学物質による土壌汚染に対応できない。よって、米軍基地特有の化学物質については、その環境残留状況を確認し、存在が確認された物質については人や生態系への影響の程度を評価し、影響が生ずる程度にあると判断された化学物質に対しては、適切な措置を講ずる必要がある。なお、米軍基地特有の化学物質は、国内法において使用が禁止又はそれに準ずる措置がとられる物質と国内法に何も規制されていない物質に分けられる。本ガイドラインでは、前者を「国内法使用禁止等物質」、後者を国内法では規制されていないが米軍基地内で国内の一般地域と比べて相当量が使用されていることが懸念される物質という意味で「基地内相当量使用物質」と呼ぶことにする。また、単に「有害物質」と用いる場合は、土壌中の残留状況とそれぞれの物質が有する有害性から人健康等への影響が懸念される物質の総称を意味する。

本章では、土壌汚染対策法及びダイオキシン類対策特別措置法の対象物質並びにその他米軍基地特有の化学物質に関する土壌汚染の調査及び調査結果に基づいて講ずる措置について、米軍基地であることでの留意点を踏まえてその方法を記載する。

なお、本章の構成と各節の概要は表 5-1 に示すとおりである。

表 5-1 第5章地下水・土壌汚染等に関する対応の構成と各節の概要

節番号	節名	概要
5.1	基本的事項	沖縄の米軍基地における地下水・土壌汚染に関する対応を行う上で、土壌汚染対策法の特定有害物質、ダイオキシン類、国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質について、前提とすべき基本的な考え方及び対応の手順について示す。
5.2	調査計画の立案・実施の基本的な考え方	沖縄の米軍基地において調査を実施する際の全ての有害物質の分類に共通した留意点及び調査手法を選定する際の考え方について示す。
5.3	地歴調査	全ての有害物質を対象に、既存資料等から土壌汚染のおそれの有無を判断し、現地調査の必要性を把握するための方法について示す。
5.4	国内法使用禁止等物質の管理目標値の設定	基地内相当量使用物質は、土壌汚染対策法の特定有害物質及びダイオキシン類と同様に現地調査を実施することとなるが、国内法使用禁止等物質については、土壌汚染に係る基準が設定されていないことから、土壌汚染の有無を判断するための管理目標値の設定方法を示す。
5.5	一般調査	土壌汚染対策法で定める特定有害物質、ダイオキシン類及び国内法使用禁止等物質が地表面へ漏えい又は排出したことに伴う土壌汚染の調査方法について示す。
5.6	盛土地調査	盛土造成時に廃棄物を投棄・埋設されたことなどに由来する地中での土壌汚染対策法で定める特定有害物質、ダイオキシン類及び国内法使用禁止等物質による土壌汚染の調査方法について示す。
5.7	リスク評価調査	基地内相当量使用物質について、環境中の存在状況から影響の程度を評価し、対策を講じるかを判断する方法並びにそれらの調査及び対策を実施する際の留意点について示す。
5.8	国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質の分析法	法令で土壌の含有量及び溶出量を測定するための分析法が定められていない国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質について、分析を行うにあたっての参照すべき分析法について示す。
5.9	環境対策の考え方	地下水・土壌汚染が確認された際及び環境対策時並びに環境対策において汚染土壌が現地に残存する対策を講じた後のモニタリングの方法について示す。

5.1.2 地下水・土壌汚染等に関する対応の考え方

米軍基地内は、他の国内一般地域と比べて化学物質の種類や利用に特殊性があることや、原則として国内法令等が適用されないことから、国内の一般地域では想定されない土壌汚染が生ずることが懸念される。

沖縄の返還された米軍基地跡地で埋設廃棄物が確認された沖縄市サッカー場や、西普天間住宅地区跡地での土壌汚染の事例等から、沖縄の米軍基地内の土壌汚染のシナリオのイメージを図 5-1 に、土壌汚染のシナリオと汚染の特徴として想定される内容を表 5-2 に示す。

水質汚濁防止法(昭和45年12月25日法律第138号)に基づく特定施設に相当する米軍基地内の施設の跡地では、それら施設が返還前に廃止されることとなり、特定施設に相当する施設が存在していた可能性を否定できない土地を含め、土壌汚染対策法の第3条に倣い土壌汚染調査を実施することが必要である。また、ダイオキシン類対策特別措置法の特定施設に相当する施設の跡地及びその可能性を否定できない土地においても、焼却灰や排水の漏えいによりダイオキシン類の土壌汚染が生じていないことを調査により確認することが必要である。

さらに、調査で対象とする有害物質は、米軍基地の特殊性から、土壌汚染対策法で定める特定有害物質及びダイオキシン類だけでは十分とは言えず、他法令で使用が禁止又は規制されている物質について、調査対象とすべきである。基地内で相当量が使用され、それらの一部が漏えいすることでリスクが懸念される物質についても、環境の保全上の支障を未然に防ぐという観点から、必要に応じて対象に加えるべきである。

米軍基地の運用において相当量が使用され排出されるおそれがある物質や、燃焼施設周辺での非意図的生成物質による汚染やその管理に用いられる物質など、米軍基地での運用において排出されることで土壌の汚染が懸念される物質についても有害性に勘案し、必要に応じて調査対象に加えるべきである。

加えて、沖縄市サッカー場では、米軍基地が建設される以前は谷であった土地が盛土造成された箇所において、投棄・埋設された廃棄物に由来する土壌汚染が確認されており、米軍基地が建設される以前は谷地であったような土地が盛土造成された箇所においても同様の汚染が生じていることが懸念される。埋設された廃棄物による汚染は、局所的だが高濃度となる可能性があることから、米軍基地建設後に盛土が行われた土地においては米軍基地建設以前の地表面上の範囲について、水平方向及び鉛直方向それぞれ密に試料を採取して汚染の有無を確認すべきである。

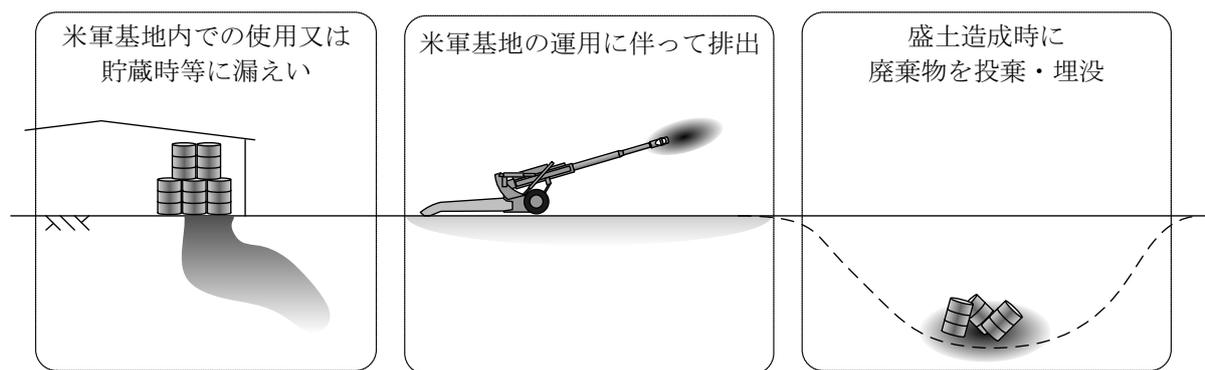


図 5-1 沖縄の米軍基地内で想定される土壌汚染のシナリオのイメージ

表 5-2 沖縄の米軍基地内で想定される土壌汚染のシナリオと汚染の特徴

汚染シナリオ	汚染の主な特徴	
	汚染箇所	汚染の広がり
米軍基地内での使用又は貯蔵時等に漏えい	水質汚濁防止法及びダイオキシン類対策特別措置法に基づく特定施設に相当する施設等	漏えい地点付近に比較的高濃度で存在し、地下浸透していった場合には地下深部でも高濃度で存在し表層部にその痕跡が残る。
米軍基地の運用に伴って排出	燃焼施設周辺、演習場及びその他兵器が使用されていた箇所	大気を介して排出された有害物質は、比較的表層の広範囲に低濃度で存在していると考えられる。排水中の有害物質は排水経路周辺に存在していると考えられる。
盛土造成時に廃棄物を投棄・埋没	米軍基地の運用時に盛土造成された土地等	米軍基地の建設以前の地表面上の比較的狭い範囲に極めて高い濃度で存在していると考えられる。

5.1.3 対象となる有害物質について

対象となる有害物質としては、土壌汚染対策法で定める特定有害物質及びダイオキシン類があげられる。これに加えて、米軍基地特有の問題として土壌汚染が懸念される有害物質としてあげられる国内法使用禁止等物質や基地内相当量使用物質等を対象に加えるべきである。以下に対象となる有害物質の内容を示す。

(1) 土壌汚染対策法で定める特定有害物質

土壌汚染対策法では、①有害物質を含む土壌を摂取すること、②土壌中の有害物質が地下水に溶出し、当該地下水を摂取することの2つの経路に着目し、土壌に含まれることに起因して人の健康に係る被害を生ずるおそれがある有害物質として、26物質が特定有害物質として政令で指定され、表5-3に示すとおり土壌の汚染状態に関する土壌溶出量基準及び土壌含有量基準が定められている（土壌汚染対策法の基準値設定の基本的な考え方は参考資料1.2節に掲載）。

表5-3 土壌汚染対策法の特定有害物質の指定基準等

物質の種類	指定基準		地下水基準 ^{注3} (mg/L)	土壌ガスの 定量下限値 ^{注4} (volppm)	分類
	土壌溶出量基準 ^{注1} (mg/L)	土壌含有量基準 ^{注2} (mg/kg)			
四塩化炭素	0.002 以下	—	0.002 以下	0.1	第1種特定有害物質 (揮発性有機化合物)
1,2-ジクロロエタン	0.004 以下	—	0.004 以下	0.1	
1,1-ジクロロエチレン	0.1 以下	—	0.1 以下	0.1	
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 以下	—	0.04 以下	0.1	
1,3-ジクロロプロペン	0.002 以下	—	0.002 以下	0.1	
ジクロロメタン	0.02 以下	—	0.02 以下	0.1	
テトラクロロエチレン	0.01 以下	—	0.01 以下	0.1	
1,1,1-トリクロロエタン	1 以下	—	1 以下	0.1	
1,1,2-トリクロロエタン	0.006 以下	—	0.006 以下	0.1	
トリクロロエチレン	0.03 以下	—	0.01 以下	0.1	
ベンゼン	0.01 以下	—	0.01 以下	0.05	
クロロエチレン ^{注5}	0.002 以下	—	0.002 以下		
カドミウム及びその化合物	0.01 以下	150 以下	0.003 以下		第2種特定有害物質 (重金属等)
六価クロム化合物	0.05 以下	250 以下	0.05 以下		
シアン化合物	検出されないこと	50 以下(遊離シアンとして)	検出されないこと		
水銀及びその化合物	水銀が0.0005 以下、かつアルキル水銀が検出されないこと	15 以下	水銀が0.0005 以下、かつアルキル水銀が検出されないこと		
セレン及びその化合物	0.01 以下	150 以下	0.01 以下		
鉛及びその化合物	0.01 以下	150 以下	0.01 以下		
砒素及びその化合物	0.01 以下	150 以下	0.01 以下		
ふっ素及びその化合物	0.8 以下	4,000 以下	0.8 以下		
ほう素及びその化合物	1 以下	4,000 以下	1 以下		
シマジン	0.003 以下	—	0.003 以下		
チウラム	0.006 以下	—	0.006 以下		第3種特定有害物質 (農薬等)
チオベンカルブ	0.02 以下	—	0.02 以下		
PCB	検出されないこと	—	検出されないこと		
有機りん化合物	検出されないこと	—	検出されないこと		

注1：土壌溶出量基準 土壌に水を加えた場合に溶出する特定有害物質の量に関する基準
 2：土壌含有量基準 土壌に含まれる特定有害物質の量に関する基準
 3：地下水基準 地下水に含まれる特定有害物質の量に関する基準
 4：土壌ガスの定量下限値 気体に含まれる特定有害物質の量で、表中に示す定量下限値において検出された試料採取地点があるときは、土壌試料の採取等を行う。
 5：平成29年4月1日から施行

(2) ダイオキシン類

ダイオキシン類対策特別措置法に基づく大気汚染、水質汚濁（水底の底質の汚染を含む。）及び土壤の汚染に係る環境上の条件がそれぞれ定められている。

土壤の汚染に係る人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準（環境基準）は以下の通りである（5.3ダイオキシン類の土壤汚染に係る環境基準において、直接摂取に着目した「1,000pg-TEQ/g以下」の設定手法は参考資料1.3節に掲載）。

表 5-4 ダイオキシン類の土壤の汚染に係る環境基準

基準値	測定方法
1,000pg-TEQ/kg以下	土壤中に含まれるダイオキシン類をソックスレー抽出し、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計により測定する方法（ポリ塩化ジベンゾフラン等（ポリ塩化ジベンゾフラン及びポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシンをいう。以下同じ。）及びコプラナーポリ塩化ビフェニルをそれぞれ測定するものであって、かつ、当該ポリ塩化ジベンゾフラン等を2種類以上のキャピラリーカラムを併用して測定するものに限る。）

備考1：基準値は、2,3,7,8-四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシンの毒性に換算した値とする。

2：土壤中に含まれるダイオキシン類をソックスレー抽出又は高圧流体抽出し、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計、ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計又はガスクロマトグラフ三次元四重極形質量分析計により測定する方法（この表の土壤の欄に掲げる測定方法を除く。以下「簡易測定方法」という。）により測定した値（以下「簡易測定値」という。）に2を乗じた値を上限、簡易測定値に0.5を乗じた値を下限とし、その範囲内の値をこの表の測定方法により測定した値とみなす。

3：土壤にあっては、環境基準が達成されている場合であって、土壤中のダイオキシン類の量が250pg-TEQ/g以上の場合（簡易測定方法により測定した場合にあっては、簡易測定値に2を乗じた値が250pg-TEQ/g以上の場合）には、必要な調査を実施するものとする。

(3) 国内法使用禁止等物質

国内法において使用が禁止又はそれに準ずる措置がとられた国内法使用禁止等物質については、使用の禁止等となった際に、保管していた物質の適正な廃棄方法や残留物質への対応に関する措置が講じられているが、それらの措置は原則として米軍の行為には適用されない。ただし、近年の運用中の米軍基地については、日本環境管理基準（JEGS）により環境管理がなされることになっており、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（昭和48年法律第107号、以下「化審法」という。）で規定する第一種特定化学物質についても、有害物質として取り扱われる事になっている（化審法の第一種特定化学物質については参考資料1.4節に掲載）。

国内法使用禁止等物質のうち、化審法の第一種特定化学物質は、環境中で分解しにくい難分解性物質であり、また、土壤中では移動速度が遅く、その汚染が長期間継続することとなる。例えば、ジクロロジフェニルトリクロロエタン（以下、「DDT」という。）は土壤での半減期が50日～15.6年であるとの報告¹があり、過去に米軍基地内においても使用されていた可能性が高く、米軍基地跡地を利用した沖縄市サッカー場での土壤汚染においても確認された。また、昭和61年（1986年）にキャンプ・キンザーの周辺での魚が大量に斃死したことに関連し、クロルデン（土壤での半減期が約1年¹）及びディルドリン（土壤での半減期が約5年¹）等が高濃度で底質や水、魚に含まれていたことが報じられている。

¹ 「環境省パンフレット POPs」（2016年3月作成、環境省）

他方で、国内の一般地域では、化審法の第一種特定化学物質に指定された際に必要に応じて回収等の措置が講じられることとなっている。また、化審法の第一種特定化学物質の大半が対象物質となっている残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（以下、「POPs条約」という。）においても、条約の対象となった物質については、健康及び環境を保護する方法で管理され、廃棄物についてはその特性を示さなくなるよう破壊等を行うことが求められ、我が国では国内実施計画が策定されその取り組みが進められている（POPs条約については参考資料 1.5 節に、POPs廃農薬の処理に関する我が国の取組については参考資料 1.6 節に、POPs条約対象物質の有害性については参考資料 1.7 節にそれぞれ掲載）。

また、石綿については、労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）において製造等禁止物質に指定され、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号）等に基づき適切に処分することとされている。しかしながら、米軍基地から搬出された廃棄物に混入した石綿が適正に処理されなかった事例や、米軍基地内の建物の解体において石綿への適正な対処がなされなかった事例がある。土壌中へ埋設された石綿は、長い年月を経てもその有害性を保持し続けることとなることから、土壌中に石綿がまとまった量で含まれていないかを確認し、存在が確認された場合にあっては適切に対処する必要がある。

結果として、「高い有害性を有すことなどから国内法令で使用の禁止又はそれに準ずる措置が求められている物質であり、かつ、その用途等から米軍基地内で過去に利用又は貯蔵していたことが想定される難分解性物質」については、その存在が確認された場合に適切な措置が求められることから、土壌汚染対策法の特定有害物質及びダイオキシン類を調査する際にその存在を合わせて調査することが必要である。

なお、国内法使用禁止等物質の存在を確認するに当たっては、土壌汚染対策法で定める特定有害物質に関する指定基準及びダイオキシン類の土壌汚染に係る環境基準を定めた際の方法を参考に、既往の有害性に関する知見から含有量及び溶出量の管理目標値（詳細は「5.4 国内法使用禁止等物質の管理目標値の設定」において説明する。）を定め、その管理目標値を超過したことで物質が存在すると判断し、汚染土壌の掘削除去等の措置を講じることが必要である。

(4) 基地内相当量使用物質

米軍基地内は、わが国の一般地域と比べて化学物質の種類と利用に特殊性があることから、国内法使用禁止等物質に加えて、他の国内一般地域においては土壌汚染が想定されにくいことなどから土壌汚染対策法で定める特定有害物質とされなかった有害物質についても検討する必要がある。

図 5-2 に示すとおり、沖縄の米軍基地は、米軍及びその関係者が日常の生活を営む「一般施設」と、基地として運用される「軍事施設」とにより構成される。また、沖縄の米軍基地内で使用される物品等の多くは、米国から基地内に持ち込まれてい

る。沖縄の米軍基地内には、これらの物品等に起因する化学物質が存在しており、他の一般地域とは異なることを踏まえた有害物質の土壌汚染対策を実施する必要がある。

米国内ではスーパーファンド法²に基づいて土壌汚染の調査及び対策が進められており、米国内の基地においても調査がなされ、汚染が確認されている。沖縄の米軍基地内においても同様の汚染が生ずることが否定できず、米国内の基地において土壌中の残留が確認されリスク評価の対象とされた有害物質については、沖縄の米軍基地においてもそのリスクを評価する必要がある（米国内の基地において汚染が確認された物質から対象物質を選定する方法は参考資料 1.8 節に掲載）。

また、米軍基地内で使用される物質のうち、砲弾に充填される火薬等の兵器運用に必要な消耗品は、国内においても自衛隊基地内等での使用が想定されるが、その他の地域において恒常的に用いられることはない。米国国防総省が 2002 年（平成 14 年）に米国議会へ提出した報告書では、弾薬等に由来する成分のうち、環境や健康に影響を生じるおそれのある物質として 20 物質が示されている。報告書に示された物質の一部は前述のスーパーファンド法に基づく調査で基地内での残留が確認されていることから、そのリスクを検討する必要がある（2002 年に米国国防総省が米国議会へ報告した弾薬等に由来する成分のうち、環境や健康に影響を生じるおそれのある物質の詳細については参考資料 1.9 節に掲載）。

この他、米軍基地内の土壌及びその土壌に起因する地下水等の汚染を対象とした地歴調査において上記以外の物質による汚染のおそれがあると判断される場合も、調査対象に加える必要がある。

上記を踏まえ、「他の一般地域においては利用されない又は極めて少ない等により土壌汚染に関する国内法令としての規制等の対象とはなっていないが、米軍基地内においては相当量の使用が見込まれる有害物質」を「基地内相当量使用物質」として対象に加えることが必要である。

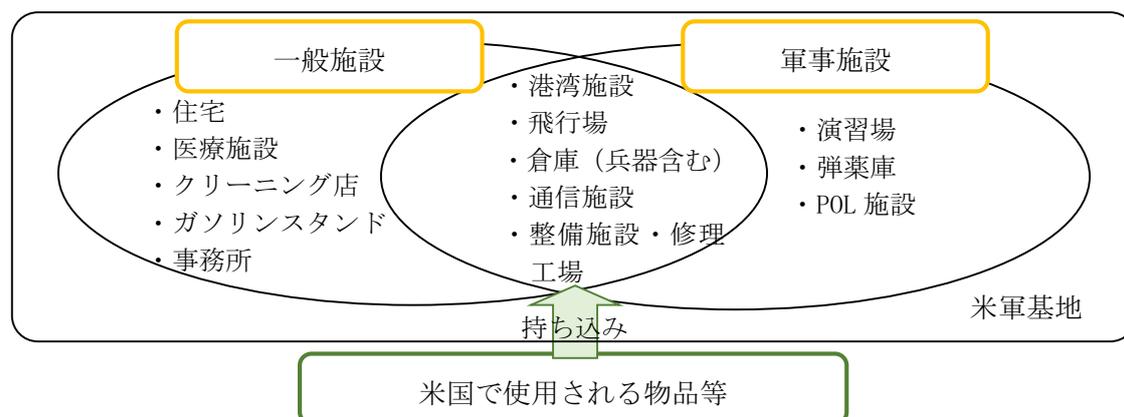


図 5-2 沖縄の米軍基地で利用される化学物質の概念

² 「包括的環境対策・補償・責任法」（1980年、CERCLA）と「スーパーファンド修正及び再授權法」（1986年、SARA）の2つの法律を合わせた通称で、汚染の調査や浄化は米国環境保護庁が行い、汚染責任者を特定するまでの間、浄化費用は石油税などで創設した信託基金（スーパーファンド）から支出することなどを定めたものである。

(5) その他の物質

土壌汚染調査の他、返還合意時に跡地利用推進法に基づき実施されることとなっている不発弾探査調査及び廃棄物調査の掘削時、それら調査が土地の改変を伴うことで実施される文化財調査の掘削時や引渡し後の土地造成等において、埋設された容器等の存在が確認されるなどに伴い、前述の(1)～(4)で示した物質以外で相当量が埋設されていた場合にあつては、基地内相当量使用物質と同様に、その内容物についても可能な範囲で土壌中の残留状況を確認し、残留が確認された物質の有害性からリスクが懸念される場合にあつては、リスクを評価するための詳細な調査を実施するものとする。

5.1.4 地下水・土壌汚染等の対応手順

(1) 地下水・土壌汚染等の対応を検討するに当たっての前提

地下水・土壌汚染等の対応の手順は、「5.1.2 地下水・土壌汚染等に関する対応の考え方」で示した汚染シナリオ毎に異なる。米軍基地内での使用又は貯蔵時等に漏えい若しくは米軍基地の運用に伴って排出された有害物質に起因する土壌汚染は、漏えい地点表層に比較的高濃度で存在し、地下浸透していった場合には地下深部でも高濃度で存在し表層部にその痕跡が残ることから、まずは表層において環境中の存在状況を確認することが適切である。他方で、埋設された廃棄物に由来する土壌汚染に対しては、表層の調査だけではその汚染を見逃すおそれがあることから、存在状況を確認するために鉛直方向の調査を行う必要がある。

また、対象とする物質によっても対応手順は異なり、「5.1.3 対象となる有害物質について」で述べた物質のうち、土壌汚染対策法で定める特定有害物質及びダイオキシン類については、土壌汚染対策法及びダイオキシン類対策特別措置法を参考に対応することとなる。また、国内法使用禁止等物質は前述のとおり、化審法やPOPs条約に基づく回収や破壊等の措置を講じると同時に、高蓄積性があることから、設定した管理目標値を超過したことをもって掘削除去³等の措置を講じることが必要である。他方で、上記のような土壌汚染等に係る法令で指定されていない基地内相当量使用物質等については、返還される土地の全域を対象とした地歴調査において存在が疑われる物質やスクリーニング調査において存在が確認された物質について、沖縄の米軍基地跡地を利用する上で支障となるリスクが存在するか評価し、その結果において環境対策³を行うことが早期の利用を推進させる上で必要である。

以上を踏まえ、対象物質別の土壌汚染に対する環境対策を実施すべきかの判断の考え方は表 5-5 に、汚染のシナリオに基づき必要とされる調査は表 5-6 に示すとおりである。

表 5-5 土壌汚染に対する環境対策を実施すべきかの判断の考え方

対象物質	環境対策を実施すべきかの判断の考え方
土壌汚染対策法の特定有害物質	土壌汚染対策法を参考に、土壌含有量基準、土壌溶出量基準及び地下水基準で環境対策の実施を判断
ダイオキシン類	ダイオキシン類対策特別措置法を参考に、環境基準で環境対策の実施を判断
国内法使用禁止等物質	有害性情報に関する既往の研究結果から設定した管理目標値を超過した場合に、掘削除去等の措置の実施を判断
基地内相当量使用物質 (その他の物質を含む。)	将来の土地利用を踏まえたリスク評価の結果から環境対策の実施を判断

³ 本章で用いる環境対策とは土壌汚染に起因する環境リスクを低減するために講じる措置の全般を意味し、掘削除去は環境対策に包含される。具体的な内容は5.9節及び参考資料第7章を参照のこと。

表 5-6 汚染のシナリオに基づき必要とされる調査

調査名	想定する汚染シナリオ	対象物質	調査の概要
一般調査	米軍基地内での使用又は貯蔵時等に漏えい若しくは運用に伴って排出	土壌汚染対策法で定める特定有害物質、ダイオキシン類、国内法使用禁止等物質	地歴調査において調査対象物質の汚染可能性があると判断された範囲において土壌汚染対策法等に基づき表層の汚染を調査する。また、地下水及び湧水において汚染の有無を確認する。表層で汚染が確認された場合、深さ方向も含めてより詳細な調査を実施し汚染範囲を確定する。
盛土地調査	盛土造成時に廃棄物を投棄・埋没		米軍基地が建設される以前は谷地であるなど、米軍基地建設後に土地の盛土造成がなされた土地において、建設前の地表面から上層の土壌について、有害物質の汚染状況を確認する。
リスク評価調査	全ての汚染シナリオ ^{注1}	基地内相当量使用物質（その他の物質を含む。）	想定されるばく露経路の代表地点（地下水、湧水、表層土壌等）で有害物質の存在を確認 ^{注2} する。存在が確認された有害物質を対象に、リスク評価を実施する上で必要となる媒体中の濃度及び他の媒体から濃度を推計するための移流・拡散に関するデータを取得し、評価を行う。

注1：リスク評価調査においては、別途検討するばく露シナリオから想定される主なばく露経路において有害物質の存在を確認するためのスクリーニング調査を実施し、その結果を踏まえてばく露の可能性のある汚染を対象とする。このため、汚染のシナリオは限定しないものとする。

注2：有害物質の存在を確認：リスク評価を行なうかどうかを判断するためのもので、地点としては密に行う必要はないが、検出感度は時空間的な変動を考慮して対象とした媒体においてリスクが生ずると判定される濃度より低い値（以下、「スクリーニングレベル⁴」という。）とする必要がある。

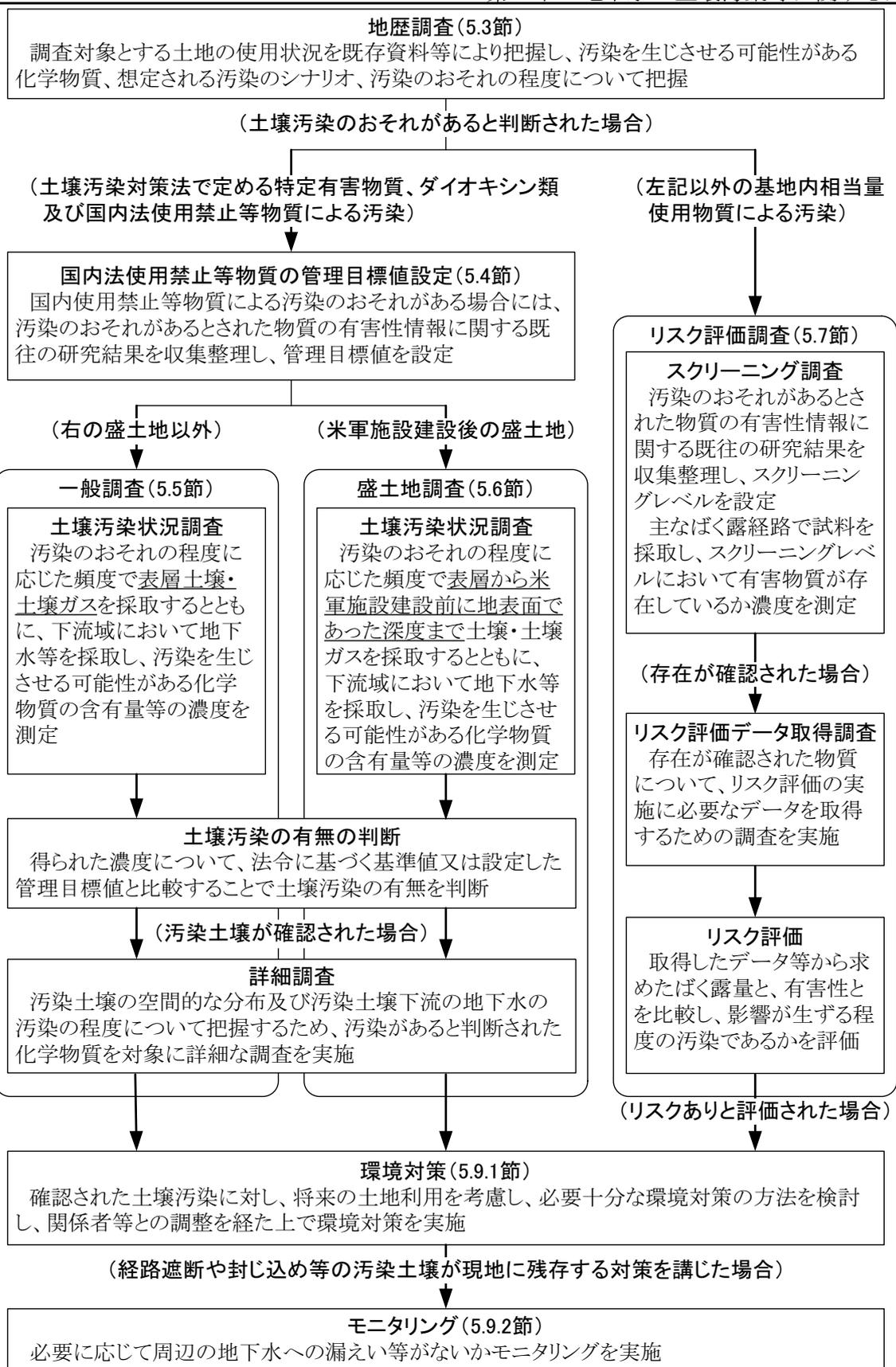
(2) 対応手順

地下水・土壌汚染等の対応手順を図 5-3 に示す。

はじめに、地歴調査を実施する。地歴調査では、既存資料等により、米軍基地建設後の土地の使用状況及びその使用において利用される化学物質に関する情報を収集し、土壌汚染のおそれの区分について把握する。また、米軍基地の建設後に谷地を埋めるなどの盛土造成が行われたかを把握し、廃棄物等の埋設の可能性を把握する（地歴調査の方法は 5.3 節を参照のこと。）。

上記の調査の中で、汚染のおそれがあると判断された場合（否定できない場合を含む。汚染のおそれの判断については後述する「5.2.2 調査手法を選定する際の考え方」を参照のこと。）にあっては、国内使用等禁止物質の有害性情報に関する既往の研究結果を収集整理し、その管理目標値を設定する（管理目標値の設定方法は 5.4 節を参照のこと）。

⁴ リスク評価を実施する必要があるか判断するための値で、判断時の不確実係性を加味して安全側の値として設定するもので、詳細は「5.7.4(1)1)スクリーニングレベルの設定」を参照のこと。



注：括弧内に示した節は、その内容を記述した個所を示している。なお、以降の節で図中に記載のない5.2節では全般にわたって留意すべき調査計画の立案・実施の基本的な考え方を、5.8節では国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質の分析法について記載している。

図 5-3 地下水・土壌汚染等の対応手順

地歴調査において、土壤汚染対策法の特定有害物質、ダイオキシン類土壤汚染及び国内法使用禁止等物質のおそれがあると判断された場合には、土壤汚染の現地調査を実施する（調査全般にわたって留意すべき調査計画の立案・実施の基本的な考え方は5.2節を参照のこと。）。

この際に、米軍基地内での使用又は貯蔵時等に漏えい若しくは運用に伴って排出された有害物質による汚染などの有害物質が土壤表層を経て汚染されたことのみが想定される土地では、一般調査を実施することとし、土壤汚染状況調査で表層土壤等を採取するとともに、その下流域において地下水及び湧水を採取し、その濃度を測定する（一般調査の方法は5.5節を参照のこと。）。

他方、米軍基地建設後に谷地が盛土されるなど廃棄物の投棄・埋没されていることが否定できない土地では、盛土地調査として、表層から米軍基地建設前に地表面であった深度まで土壤を採取するとともに、その下流域において地下水及び湧水を採取し、その濃度を測定することで汚染の有無を把握する（盛土地調査の方法は5.6節を参照のこと。）。

なお、土地所有者へ引き渡された土地は、土壤汚染対策法及びダイオキシン類特別措置法の土壤汚染等に係る国内法令に基づき土壤汚染等の管理がなされる。これまでに引き渡された土地において土壤汚染が確認された事例があることを踏まえると、返還合意後に実施される調査では、土壤汚染対策法で定める特定有害物質及びダイオキシン類による汚染が無いことを確認するために、原則としてそれら全ての物質を現地調査の対象物質とすべきである。

また、国内法使用禁止等物質においても、引渡し後は化審法等の国内法令が適用されることとなり、国内法使用禁止等物質の残留が返還後に確認された事例があることを踏まえると、固形製品に練り込まれて使用されるなど沖縄の米軍基地では土壤汚染が生じる可能性がないことが明らかな物質以外については、現地調査において汚染が無いことを確認すべきである。現地調査の結果を、土壤汚染対策法及びダイオキシン類対策特別措置法に基づく基準値又は国内法使用禁止等物質について有害性情報から設定した管理目標値と比較することで、土壤汚染の有無を判断する。その結果、土壤汚染があると判断された土地については、基準値又は管理目標値を超過する汚染土壤の空間的な分布及び汚染土壤下流の地下水の汚染の程度について、より詳細な試料採取及び測定を行い、環境対策を実施すべき範囲を決定する。

基地内相当量使用物質については、地歴調査において使用又は貯蔵しているなどで汚染のおそれが見つかった場合（否定できない場合を含む。）及び汚染のおそれがあると判断された場合は、リスク評価調査を実施する（リスク評価調査の方法は5.7節を参照のこと。）。リスク評価調査では、初めにスクリーニング調査を実施し、主なばく露経路（地下水及び湧出水並びに表層土壤）で試料を採取し、汚染のおそれがあるとされた化学物質がスクリーニングレベルを超える濃度であるか把握するものである。スクリーニングレベルは、有害性情報に関する既往の研究結果を収

集整理し、スクリーニング調査で得られる結果の不確実性を加味して安全側の値として設定する値であり、詳細は「5.7.4(1)1) スクリーニングレベルの設定」において説明する。

スクリーニングレベルにおいて存在していることが確認された化学物質及びその分解生成物については、リスク評価データ取得調査を実施する。このリスク評価データ取得調査では、汚染土壌の空間的な分布、土壌からの溶出量並びに地下水の流況、水質及び利水状況などのデータについて、既存資料調査及び現地調査により取得する。また、それらから数理モデル等を用いてばく露量を算定する際に必要となる諸数値について既存資料から整理し、取得できない又は他の地域で取得された値を用いることが妥当ではないとされる諸数値については、その値を求めるための現地調査を実施する。

リスク評価では、ばく露量と有害性に基づき設定されたばく露が許容される量（ばく露許容量）とを比較し、ばく露量がばく露許容量を上回る程の汚染であるかをもって評価する。ばく露量は、返還後の土地利用において想定される主なばく露経路を設定し、地下水の飲用や表層土壌の摂食といったそれぞれの経路から人へ取り込まれる量で、リスク評価のための調査で得られたデータから算定する。有害性は、地歴調査においてスクリーニングレベルを設定する際に収集整理した有害性情報に関する既往の研究結果から、ばく露許容量として設定する。ばく露量がばく露許容量を上回る場合には、ばく露量がばく露許容量を下回るよう環境対策を講じることとなる。

土壌汚染対策法の特定有害物質、国内法使用禁止等物質又はダイオキシン類、基地内相当量使用物質のいずれかで環境対策が必要と判断された土地では、環境対策後の土地利用を踏まえ必要十分な環境対策の方法を検討し、その土地の地権者及び汚染土壌下流の地下水を利用する関係者等との調整を経た上で、対策を実施する（環境対策の考え方は5.9.1、5.9.2(1)節を参照のこと。）。

上記の環境対策において、汚染土壌の除去は行わず、経路遮断や封じ込め等の汚染土壌が現地に残存する対策を実施した場合には、対策施設からの汚染の拡散等がないか確認する為、土壌汚染対策法に準じて定期的なモニタリングを実施する（モニタリングの方法等は5.9.2節を参照のこと。）。

5.2 調査計画の立案・実施の基本的な考え方

本節では、跡地利用推進法の枠組みの中で、沖縄島の米軍基地内で実施すべき調査の計画を立案し、実施する際の基本的な考え方について示すものとする。

5.2.1 沖縄の米軍基地において調査を実施する際の留意点

沖縄固有の自然環境、社会環境に起因して生じている課題及び留意点と米軍基地に起因する課題について整理した（沖縄の米軍基地において調査を実施する際の留意すべき地域特性は参考資料 2.1 節に掲載）。

(1) 地形・地質特性

返還予定の基地が集中する中南部は、島尻累帯に区分される主として島尻層群が基盤をなし、上位に琉球石灰岩が基盤低地を埋めて地下水盆を形成する地形、地質となっている。また、北部は国頭累帯に区分される中生代の名護層や新生代古第三系の嘉陽層で、本部半島は本部累帯に区分される本部層や今帰仁層の厚い石灰岩で構成されている。このような地形・地質を基盤とする地下水特性及び土壌特性において後述するような沖縄特有の留意点が生ずることから、土壌汚染の進み具合の推定、汚染と地下水との関係の把握、揮発性有機化合物を対象とした土壌ガスの採取可能性等の調査方法の検討、影響の予測及び評価並びに対策の検討などの地下水・土壌汚染の調査及び措置を適正かつ的確に行うためには、調査対象地域の地形・地質特性を十分に把握する必要がある。

(2) 地下水特性

試料採取を行う際は、汚染されていない琉球石灰岩層を貫通し、下層地下水汚染を生じさせないよう細心の注意を払う必要がある。

また、地下水経路の健康被害のおそれの有無については、有害物質を含む地下水が到達し得る範囲について特定することとされているが、琉球石灰岩層では透水性が非常に大きいことから、沖縄における地下水状況を考慮し、「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）」（環境省 水・大気環境局 土壌環境課 平成24年8月。以下「土壌汚染対策法調査措置ガイドライン」という。）に示された特定有害物質を含む地下水が到達し得る「一定の範囲」の考え方を踏まえ、透水係数、動水勾配等を考慮し、適切に調査対象範囲を設定する必要がある。

(3) 土壌特性

中南部に多く分布する島尻マージなどは土層厚の変化が大きく、基岩が露出または表層付近で出現することがあることから、土壌試料採取にあたっては、土壌汚染対策法で規定される表層から深さ50cmの土壌を採取できない場合があり、可能な深さにおいて採取せざるを得ないことに留意する必要がある。

土壌汚染対策法に基づく溶出試験では目合いが $0.45\mu\text{m}$ のろ紙を用いることとされているが、沖縄県の主要土壌である国頭マーグ、島尻マーグ、ジャーガル（母材のクチャを含む）はいずれも粒径が小さく、粒子の一部はろ紙で捕集されないことから、ろ液には懸濁態も必然的に含むこととなる。他方、実際の地下水中の挙動では、懸濁態が流下する過程で土壌に捕捉・沈降される傾向にあり、地下水中の移動範囲が限定されることも考えられることから、土壌溶出量試験結果についてはその溶出機構及び移動特性に基づいた的確な判断が求められる。

また、環境対策において土地の区画形質を変更する場合には、その面積に関わらず、沖縄県赤土等流出防止条例（平成6年条例第36号）に基づき、赤土等が流出しないように防止措置を講ずる必要がある。

(4) 境界標・不動産登記資料等（調査範囲を確定するための情報）の入手

返還予定の基地については、概ね位置境界明確化措置が完了しているが、一部の土地では未完了となっていることから、調査実施にあたっては、調査対象地の「位置境界不明地域」該当の有無について、関係機関等と協議、調整しながら留意して進める必要がある。

(5) 地表の高さに関する情報の入手

特定有害物質を取り扱った土地において、盛土造成などにより地表面の高さが変更された場合、現在の地表面付近を対象とした土壌汚染状況調査では汚染を見逃すおそれがある。

このため、既存の航空写真、地形図等を収集し、これらに基づいて返還予定の基地における切土・盛土等の地形改変状況について把握する必要がある。

(6) 米軍基地内の有害物質の使用等に関する情報の入手

米軍基地内では、原則として国内法令が適用されないことから、特定施設届出書などの特定有害物質の使用等に関する有用な情報が得られる公的届出資料の入手が困難であり、汚染のおそれを否定できなくなることが想定される。

(7) 米軍基地特有の有害物質の存在

米軍基地内は、軍事基地であるなどの理由から化学物質の種類と利用に特殊性があり、原則として国内法令が適用されないことから、国内の一般地域では想定されない土壌汚染が生ずることが懸念される。

現在、在日米軍による環境保護及び安全のための取り組みについては、在日米軍が作成する JEGS に従って行われることとされている。

JEGS では、有害物質の保管、取り扱い及び処分の基準、廃棄物、有害廃棄物、地下貯蔵タンク、石油貯蔵や関連の偶発的流出や緊急対応の要件について規定されており、有害物質の保管や取り扱いについては、有害物質の保管及び取り扱いに関する統合軍公報（Joint Service Publication）を含む米国国防総省部隊の方針に従

うとされている。

ただし、沖縄市サッカー場では JEGS が適用される以前に埋設された廃棄物に由来する国内法使用禁止物質等の残留が確認され、JEGS に弾薬の規定がないことから、土壌汚染対策法の特定有害物質及びダイオキシン類以外についても土壌汚染の検討対象に加えるべきである。

(8) 埋設不発弾の存在

沖縄不発弾等対策協議会で決定された「埋設不発弾等の磁気探査要領」の中で、本協議会を構成する公共事業等を行う事業者は、埋設不発弾等の事前発見に積極的に取り組むこと、また、事業の実施に当たっては、事前調査を必ず実施し、不発弾等が埋設している可能性を否定できない地域（箇所）においては、「磁気探査指針」に基づき磁気探査を行うこととされている。

沖縄県内の公共事業では、これらの指針、要領等が広く運用されており、不発弾等が埋設している可能性を否定できない地域（箇所）において土壌汚染の調査を実施するにあたっては、同様に運用することが望ましい。

(9) 埋設廃棄物等の存在

返還が予定されている米軍基地では、資料等調査の結果に基づいて、埋設廃棄物等が存在するおそれのある範囲を対象に、目視調査、地中レーダー探査等を行い、埋設廃棄物等が発見された場合には、掘削し、廃棄物等を撤去する方針で進められている。

土壌汚染の調査を実施するに当たっては、埋設廃棄物等の調査と連携し調査の効率化を図る一方で、埋設廃棄物等の調査においては確認されにくい汚染土壌が用いられた盛土造成や、焼却灰の埋設に起因するダイオキシン類の汚染等を見逃すことのないよう、必要に応じて土壌汚染としての調査を追加することが望ましい。

5.2.2 調査手法を選定する際の考え方

(1) 調査対象範囲

跡地利用推進法では土壌の汚染の状況のほか、水質の汚濁の状況、不発弾その他の火薬類の有無、廃棄物の有無等について把握することが定められている。「キャンプ瑞慶覧（西普天間住宅地区）の返還に関する実施計画等について」（平成26年8月13日 防衛省沖縄防衛局）では、各種調査の実施にあたっては、土壌汚染対策法など関係法令に定める方法により、関係機関と調整の上、適切に対応していくこととしている。

このため、調査対象範囲は、土壌汚染の地歴調査結果によって計画立案された調査対象範囲のみならず、不発弾等及び廃棄物の有無を確認する現地調査によって、それらの存在が確認され、土壌汚染のおそれの範囲が確認できる範囲までを対象とする。

(2) 土壌汚染のおそれの区分の分類

調査の実施頻度を定めるための土壌汚染のおそれの区分の分類を行うにあたっては、基地の運用形態に応じた分類を行う必要がある。

地歴調査で入手した返還予定の基地に係る情報に基づいた土壌汚染のおそれの区分の分類は、土壌汚染対策法に準じて、表5-7に示す分類が考えられる。

表5-7 返還予定の基地に係る情報に基づいた土壌汚染のおそれの区分の分類

土壌汚染のおそれの区分	土地の用途	返還予定の基地における 土地利用例
土壌汚染が存在するおそれがないと認められる土地	有害物質を使用していた場所から独立している状態が継続している場所	山林（射撃場周辺山林は除く）等
土壌汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地	有害物質の使用場所の周辺	事務所、営舎、格納庫及び駐車場（整備作業を伴うものは除く）、中庭等
土壌汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地	有害物質の使用をしていた場所	弾薬庫、燃料庫、貯油施設、整備場、実弾射撃訓練場等

ただし、米軍基地は、米軍によって管理・運用されている土地であり、またその性格上、基地の利用状況及び有害物質の使用状況等について、米軍基地建設後のすべての期間について把握し、汚染のおそれを評価することは困難であると考えられる。

このため、表5-7に示す土壌汚染のおそれの区分の分類を「土壌汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地」又は「土壌汚染が存在するおそれがないと認められる土地」と明確に評価できる情報がないことから、敷地内全てを「土壌

汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地」と過小評価してしまうことが懸念される。

土壌汚染対策法では、土壌汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地では、土壌汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地と比べて、単位面積当たりで採取する試料数が少なくなり、いくつかの返還跡地で生じている埋設廃棄物事案に起因する局所的な土壌汚染を見逃すおそれがあるので、何らかのセーフティネットを講じる必要がある。

セーフティネットの一案として、現在把握されている埋設廃棄物事案が、谷地形を埋立造成した土地において多くみられていることから、土壌汚染のおそれの区分の分類を行う際の判断根拠として、基地使用時において盛土等が行われた範囲が参考となる。地形図や空中写真等から得られた返還地全体の切土・盛土範囲等の地形の改変状況を把握することが重要である。

また、演習場等の鉛弾由来による汚染が考えられる土地については、「射撃場に係る鉛汚染調査・対策ガイドライン」に基づいて、資料等調査及び聞き取りにより得られた情報から、汚染のおそれの範囲を推定することが望ましい。なお、同ガイドラインにおいて、鉛弾は雨水等により鉛が容易に溶出しやすいとされており、雨水等の表流水によって鉛が推定到達距離を超えて流出していることが考えられることから、特に雨水が集水する流路についても留意する必要がある。

その他、空中写真や聞き取り調査から得られた情報等により、過去からの土地利用の変遷を整理し、住宅地等の生活関連用地又は山林等の未活用地でないことが確認されたが、詳細な土地利用が不明な場合にあっては、「土壌汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地」として調査することが望ましい。

(3) 調査の進め方

返還予定の基地では、土壌汚染だけでなく、不発弾や廃棄物の存在のおそれがあること、面積が広大であるため調査に係る期間やコストが膨大となること並びに自然環境及び埋蔵文化財を保全する必要があることから、調査対象地の汚染のおそれの規模、経済性及び返還後の跡地利用等を考慮し、これらを総合的に勘案して調査内容を検討する必要がある。

- ①得られる情報の確実性
- ②経済性（調査コスト）
- ③調査に伴う汚染の拡散防止
- ④自然環境の保全
- ⑤埋蔵文化財の保全
- ⑥土地利用計画

土壌、地下水、不発弾等、廃棄物の調査は、相互に密接に絡んでおり、その実施にあたっては、一体的に調査を行うことが望ましい。

調査手順については、資料等調査の結果、廃棄物調査における試掘や不発弾等の経層探査における掘削などで土地の形質変更を検討する場合、汚染された土地ではこれらの形質変更によって、汚染土壌が拡散するおそれがあることから、対象となる土壌の汚染の状況を把握するため、他の調査の掘削に先立って土壌汚染調査を行うことが必要である。下流工程で手戻りが生じた場合、円滑な返還に支障が生じるおそれがあることから、各調査実施主体間での連絡を密にし、他調査での掘削に先立つ汚染有無の確認の漏れがない調査手順を考える必要がある。

5.3 地歴調査

返還が予定される米軍基地における土壌汚染のおそれを把握するため、調査対象地の米軍基地建設以前からの地歴を調査する。

土壌汚染が存在するおそれが認められた場合は、土壌汚染等に係る調査計画を立案することとなるため、地歴調査は、その後実施される調査が円滑かつ効果的に行われる上で重要な調査となる。

本ガイドラインにおける地歴調査は、土壌汚染対策法を参考に、可能な限り過去に遡り、資料の収集による「資料調査」、関係者からの聴取による「聴取調査」、現地確認による「現地踏査」により、網羅的に情報を収集するものとする。

①調査対象地における土地利用の状況に関する情報

- ・調査対象地の用途に関する情報
- ・汚染のおそれが生じた地表の位置に関する情報

②土壌汚染、不発弾等、廃棄物の存在の蓋然性を推定するために有効な情報

- ・有害物質の埋設、使用または貯蔵等に関する情報
- ・不発弾等に関する情報
- ・廃棄物の埋設等に関する情報

5.3.1 資料調査

資料調査では、調査対象地における土壌汚染のおそれを把握するために有効な情報が記載された既存資料を入手・照会し、その内容を把握する。

返還予定の米軍基地は、建設後、米軍によって管理・運用されており、1995年以降は日本環境管理基準（JEGS）により環境管理が成されることになっている。資料調査において入手・把握する資料の多くを米軍が保有していると考えられるため、JEGSで示されている環境関連情報等について米軍に照会する必要がある。土壌汚染対策法の地歴調査において収集する資料の例は表 5-8 に、米軍基地において収集・照会する資料の例は表 5-9 に示すとおりである。

なお、嘉手納飛行場返還跡地内（現沖縄市サッカー場）⁵の埋設物対応及びキャンプ瑞慶覧（西普天間住宅地区）⁶返還時には、防衛省沖縄防衛局より米軍へ、地歴等に関する情報提供を依頼している。

⁵ 「旧嘉手納飛行場（25）土壌等確認調査（その2）報告書」（平成26年6月、沖縄防衛局）

⁶ 「キャンプ瑞慶覧（西普天間住宅地区）（25）支障除去措置に係る資料等調査 報告書」（平成26年6月、沖縄防衛局）

表 5-8 土壌汚染対策法に基づく地歴調査における収集資料の例

資料の種類		私的資料	公的届出資料	一般公表資料
資料を提供する者又は収集する者		土地所有者等	土地所有者等（公的届出資料の副本又は写し） ^注	調査実施者
1) 調査対象地の範囲を確定するための資料		<ul style="list-style-type: none"> 資産リスト（固定資産税・都市計画税課税明細書等） 土地実測図等 	<ul style="list-style-type: none"> 水質汚濁防止法の設置届等（法第3条調査） 下水道法の特定施設設置届等（法3第条調査） 調査命令に係る書類（法第4条調査・法第5条調査） 	<ul style="list-style-type: none"> 土地の登記事項証明書（登記簿謄本） 公図 都市計画図 等
2) 土地の用途及び地表の高さの変更、地質に関する資料	①土地の用途に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 工場案内（見学者向け等）、社史等 建物・施設配置図 	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画法、宅地造成等規制法 	<ul style="list-style-type: none"> 土地又は建物の登記事項証明書（登記簿謄本）（空中写真、住宅地図）^{注1} 注1 建物・施設配置図の補足や過去の工場・事業場の立地履歴を把握する端緒として使用する
	②地表の高さの変更、地質に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査報告書、地質柱状図 さく井工事記録 造成工事記録、盛土の施工記録 盛土材料の産地証明書 	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画法、宅地造成等規制法、環境影響評価法（準備書、評価書、事後調査） 地形図^{注2} 	<ul style="list-style-type: none"> 地形図^{注2} 注2 大規模な土地の形質の変更については、過去と現在の地形図の比較によりわかる場合もある 地盤図、水理基盤図等
3) 特定有害物質による汚染のおそれを推定するために有効な資料	①土壌の特定有害物質による汚染状態に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 過去に行われた土壌・地下水汚染の調査・対策に関する資料（報告書、分析データ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 過去に行われた土壌汚染対策法の調査・対策に関する資料（報告書、分析データ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 企業又は自治体の報道発表資料 企業の環境報告書、CSR 報告書
	②特定有害物質又は特定有害物質を含む固体・液体の埋設等（埋設・飛散・流出・地下浸透）に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 特定有害物質の埋設・飛散に関する記録（特定有害物質の種類、場所、深さ、量、時期等） 流出・浸透事故に関する記録（特定有害物質の種類、場所、流出・浸透量、事故発生日時等） 行政からの指導、周辺からの苦情に関する記録（対処内容を含む） 埋設等された特定有害物質の発生箇所及び移動経路に関する記録 天災・人災（地震、洪水、高潮、火事）の被災記録 	<ul style="list-style-type: none"> 「特定有害物質の埋設、飛散、流出又は地下への浸透等の履歴を確認する際に参考になり得ると考えられる行政手続の例（届出等、命令）」参照（http://www.env.go.jp/water/dojo/law/kaisei2009.html） 	<ul style="list-style-type: none"> 企業又は自治体の報道発表資料 企業の環境報告書、CSR 報告書
	③特定有害物質の使用等（製造・使用・処理）に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 取扱物質リスト、取扱物質のMSDS 特定有害物質の使用目的、使用形態、使用量、使用場所、使用時期 使用等していた施設等の構造図 使用等していた施設等を含む建物の竣工図 配管図 排水経路図 廃棄物（特定有害物質を含むもの）の保管場所 取扱物質及び廃棄物の運搬経路、運搬方法 		<ul style="list-style-type: none"> 社史、市史 製造方法等に関する科学技術論文 特許に関する公開情報（技術情報）
	④特定有害物質又は特定有害物質を含む固体・液体の貯蔵等（貯蔵・保管）に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵等物質リスト、取扱物質のMSDS 貯蔵等量、貯蔵等場所、貯蔵等時期、施設の深度 貯蔵等施設の構造がわかる図面（特に地下浸透防止措置の施行の状況がわかるもの） 配管図 排水経路図 運搬経路及び運搬方法 		<ul style="list-style-type: none"> 社史、市史
	⑤その他の資料	<ul style="list-style-type: none"> 上記の①～④に該当しないが、調査対象地における土壌の特定有害物質による汚染のおそれを推定するために有効な情報が記載されている資料 自然由来の汚染に関する資料 盛土部分に用いられた盛土材料の自然由来の汚染に関する資料 水面埋立て用材料由来の汚染に関する資料 		<ul style="list-style-type: none"> 要措置区域等の台帳^{注3} 注3 自然由来の土壌汚染及び水面埋立由来の土壌汚染の事例を確認する
4) 公有水面埋立地に関する情報		<ul style="list-style-type: none"> 造成工事記録 	<ul style="list-style-type: none"> 公有水面埋立法（公有水面埋立免許願書、公有水面埋立免許変更許可申請書、竣功認可申請書、埋立工事着手届等） 	<ul style="list-style-type: none"> 土地の登記事項証明書（登記簿謄本） 空中写真（昭和52年3月15日以降に撮影されたもの） 廃棄物処理法（水面埋立地の指定の告示、指定区域の台帳） 都市計画図

注 1～3： 何らかの理由により調査実施者が都道府県等より入手した公的届出資料がある場合は、調査対象に含めること

出典：土壌汚染対策法調査措置ガイドライン

表 5-9 米軍基地に係る収集・照会資料の例

情報の分類	情報の内容	収集・照会資料の例
対象地の範囲を確定するための情報	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象地の土地の境界 	<ul style="list-style-type: none"> 地積測量図 施設配置図 公図（法務局） 建物・敷地平面図 住宅地図
土地の用途に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象地の土地利用状況及びその変遷 建物・設備等の配置及びその変遷 土地、建物の名称、用途 廃棄物の埋設時期、場所、範囲、量 土地所有者・地目の変遷 	<ul style="list-style-type: none"> 空中写真（米軍・国土地理院等） 地形図（米軍・国土地理院） 国土基本図（国土地理院） 土地利用図（国土地理院） 不動産登記事項証明書（法務局）
地表の高さの変更に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 埋立や造成等によって地表の位置が変更された履歴の有無 地表の位置の変更を行った時期、範囲及び高さ 	<ul style="list-style-type: none"> 空中写真（米軍・国土地理院等） 地形図（米軍・国土地理院）
地形・水理等に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象地における地形・地質状況 地形の変化による埋設状況の確認水系の確認 地下水流動方向、勾配（土壌汚染の検討において地下水流動方向、勾配に関する資料を活用した事例は参考資料 3.1 節に掲載） 	<ul style="list-style-type: none"> 地形図（国土地理院） 地質図（産業技術総合研究所） 水理地質図（産業技術総合研究所） 土木地質図（国土交通省） 土地分類基本調査図（国土交通省） 土地利用図（国土地理院）
有害物質の使用等に関する資料	<ul style="list-style-type: none"> 有害物質等の使用状況、種類 	<ul style="list-style-type: none"> 水質汚濁防止法特定施設届出書類 下水道法特定施設届出書類 大気汚染防止法ばい煙発生施設揮発性有機化合物排出施設届出書類 ダイオキシン類対策特別措置法排出施設届出書類 化学物質把握管理促進法 PRTR 届出書類 PCB 特別措置法届出書類 消防法危険物施設届出書類 毒物及び劇物取締法届出書類 労働安全衛生法届出書類
不発弾等に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 不発弾の発見状況及び磁気探査等の状況 戦時中の交戦状況 戦後の地形の変化及び改変状況 火器・弾薬に関する使用・保管等履歴 	<ul style="list-style-type: none"> 不発弾等事前調査データベースシステム（沖縄総合事務局開発建設部） 戦史（交戦状態）
廃棄物に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物投棄場の有無 廃棄物の埋設時期、場所、範囲、量 廃油 PCB 廃棄物⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> 空中写真（米軍・国土地理院等） 地形図（米軍・国土地理院） 廃棄物処理法届出書類 PCB 特別措置法届出書類
廃棄物焼却炉に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物焼却炉の有無 	<ul style="list-style-type: none"> ダイオキシン類対策特別措置法排出施設届出書類 消防法届出書類

⁷ 全国のPCB廃棄物処理施設が平成29年度末より順次操業を終えることに留意する必要がある。

5.3.2 聴取調査

聴取調査では、自治体、地主会及び自治会といった地元関係者等からの聴取により調査対象地における土壌汚染、不発弾等及び廃棄物の存在を推定するために有効な情報を把握する。

聴取調査は、資料調査で把握された情報の内容について確認を行うとともに、資料調査では確認されなかった情報に対して網羅的に行う。

資料調査と同様に、返還予定の基地を管理・運用している米軍からの情報提供が重要となる。

5.3.3 現地踏査

米軍基地への調査のための立入りが可能となった段階で実施する現地踏査では、資料調査と聴取調査で得られた情報について、現地において視認等により確認する。

調査対象地及び周辺に立地する建物及びその他の構造物並びに座標が明確な境界杭等との位置関係を参考とする。

調査対象地内の建物及びその他の構造物の配置、不自然な盛土の存在及び周辺の土地との地表の高さの違いについて特に注意する。

また、試料採取や磁気探査等が困難な斜面地の存在の有無及び磁気探査に影響を及ぼす建物や埋設配管の配置等についても現地踏査において併せて確認し、記録を残すことが望ましい。

現地踏査において確認すべき点の例について以下に記す。

- ・ 地表面の燃え殻や野焼きの痕跡及び廃棄物等の有無
- ・ 盛土等の人為的な土地の改変状況
- ・ 不自然な草木の枯れや土壌の変色
- ・ 油臭や異臭等の臭気の有無
- ・ 湧水及び表流水の利用状況や異常等（変色、臭気）の有無
- ・ 周辺の土地利用状況
- ・ 過去に廃棄物を埋設・投棄した可能性の有無
- ・ 地形傾斜など地表面からの地質特性

5.4 国内法使用禁止等物質の管理目標値の設定

前述の 5.3 地歴調査の結果から、国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質による汚染のおそれがある場合（否定できない場合を含む。）にあつては、有害性情報に関する既往の研究結果を収集整理し、国内法使用禁止等物質の管理目標値を設定し、現地調査において得られた濃度が管理目標値を超過した場合に、有害物質が存在すると判断し、汚染土壌の掘削除去等の措置を講じるべきである。

国内法使用禁止等物質の有害性情報としては、参考資料 1.7 節に示した「POPs 条約対象物質の分解性、生物濃縮性及び有害性の程度」の例があり、表中の耐容一日摂取量（TDI）等から土壌汚染対策法の基準値設定時の考え方にに基づき、次式において設定する方法がある。

$$\begin{aligned} \text{管理目標値（溶出、mg/L）} &= \text{耐容一日摂取量（TDI、mg/kg/day）} \div \text{摂水量（2L/day}^8\text{）} \\ &\quad \times \text{平均体重（50kg}^8\text{）} \times \text{寄与率（10\%）} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{管理目標値（含有、mg/kg）} &= \text{耐容一日摂取量（TDI、mg/kg/day）} \div \text{摂取量（108.6mg/day）} \\ &\quad \times \text{平均体重（50kg）} \times \text{寄与率（10\%）} \\ &\quad \times \text{単位換算（1,000,000mg/kg）} \end{aligned}$$

ここで、土壌の摂取量の 108.6mg/day は次式により算出した。

$$\begin{aligned} \text{摂取量（108.6mg/day）} &= \{ (200\text{mg/day（子供の摂食量）} \times 365\text{day} \times 6\text{year}) \\ &\quad + (100\text{mg/day（大人の摂食量）} \times 365\text{day} \times 64\text{year}) \} \\ &\quad \div (365\text{day} \times 70\text{year}) \end{aligned}$$

「埋設農薬調査・掘削等マニュアル」（平成 20 年 1 月 17 日環境省水・大気局土壌環境課農薬環境管理室）に示されている POPs 農薬に関する環境管理指針値は、平均体重として 53.3kg が用いられ、土壌の含有量においては摂取主量として上式で算出される摂食による量に経皮ばく露量（生涯平均一日土壌皮膚接触量（463.8mg）に吸収率（0.04）を乗じた値）を加えた値が用いられている（参考資料 1.6 節を参照）。

また、参考資料に示した「POPs 廃棄物の環境上適正な管理に関する総合技術ガイドラインの低 POPs 含有量」のとおり、POPs 条約を受けてバーゼル条約でとりまとめられた「POPs 廃棄物の環境上適正な管理に関する総合技術ガイドライン」において残留性有機汚染物質の特性を示さなくなる含有量（低 POPs 含有量）が示されている（参考資料 1.5 節を参照）。

管理目標値の設定においては上記において算出される値と比較し、より低い値を管理目標値として設定する。

⁸ 大人を対象としたリスク評価において一般的に用いられる摂水量及び平均体重であり、子供の一般的に用いられる摂水量（1L/day）及び平均体重（10kg）を用いるより安全側の値が得られる。

5.5 一般調査

土壌汚染のおそれがあり、かつ、盛土造成が行われていないなどにより廃棄物が埋設されていないと考えられる土地では、まずは表層において有害物質の汚染状況を確認するための土壌汚染状況調査を実施する。

試料採取の方法については、土壌汚染対策法に基づき実施される調査を参考として実施する。

土壌汚染対策法の調査の流れは図 5-4 に示すとおりである。

調査の実施にあたっては、土壌汚染対策法調査措置ガイドライン等の内容に従い、前掲の 5.2 調査計画の立案・実施の基本的な考え方で述べた 5.2.1 沖縄の米軍基地において調査を実施する際の留意点を踏まえて行う。

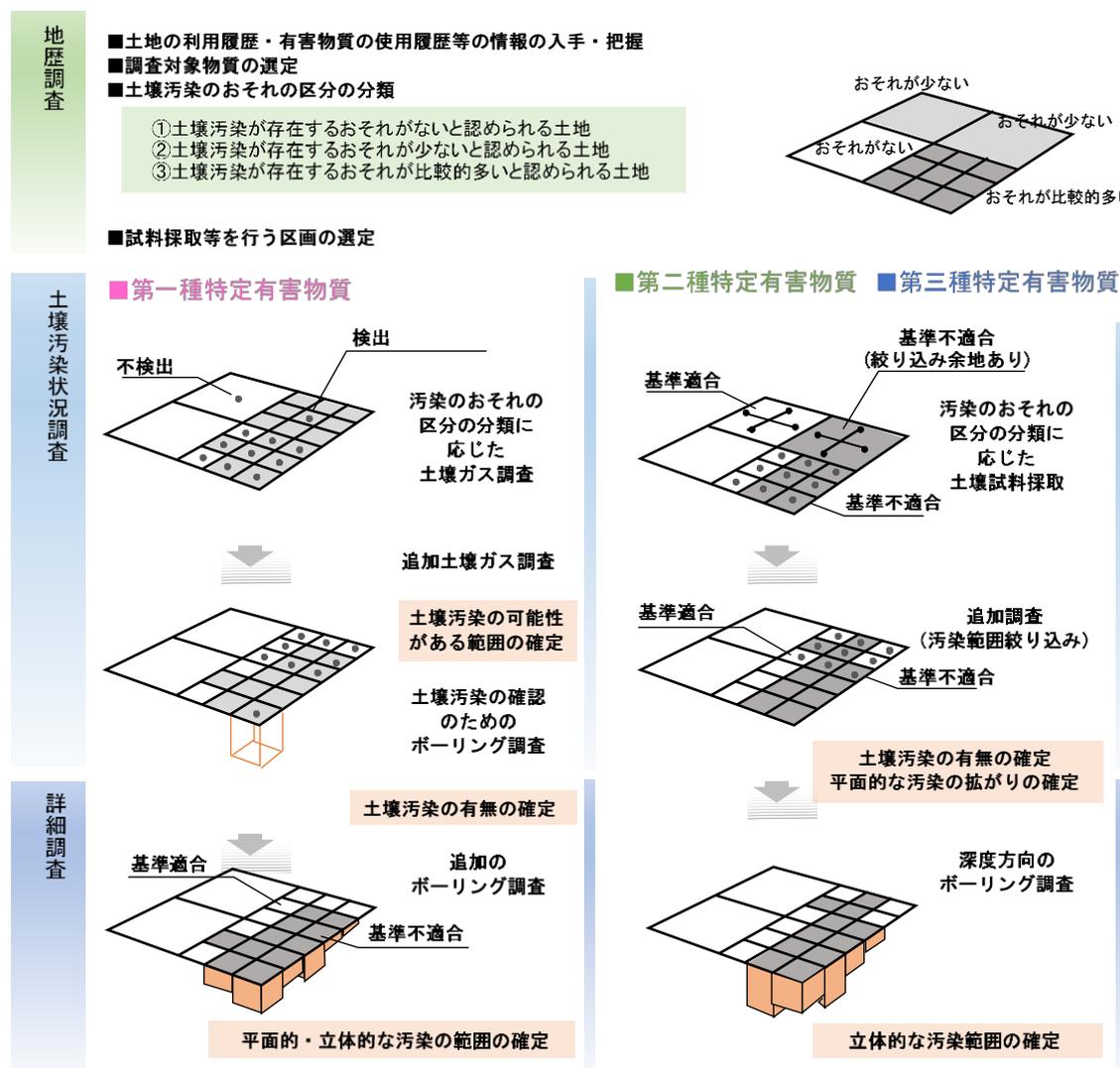


図 5-4 土壌汚染対策法に基づく調査の流れ

前述の土壌調査では 100m² 毎に 1 点採取又は 900m² 毎に 5 点で採取した試料を混合して分析するが、採取位置が汚染箇所を外れ、汚染土壌が検出できない可能性もある。また、沖縄島中南部には琉球石灰岩帯水層が広く分布していることから、透水性が高く汚染物質の移動距離が大きいと推察される。このため、土壌調査地点から地下水の流向が下流側の周辺井戸及び湧水において水質を測定し、地下水における環境基準等の環境法令で定めている基準や国内法使用禁止等物質の有害性情報等から算出した管理目標値を超過していないことを確認するものとする。

参考：ダイオキシン類に関する調査について

ダイオキシン類に係る土壌の調査については、ダイオキシン類対策特別措置法や条例に基づく調査方法として、ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル（平成 21 年 3 月改定、環境省水・大気環境局土壌環境課）が示されている。この、ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアルで示されている試料を採取する空間的な頻度は、土壌汚染対策法調査措置ガイドラインと異なっている。

ダイオキシン類による土壌の環境基準を超える地点が判明した場合に実施する範囲確定調査（目的としては土壌汚染対策法の詳細調査に相当）において、試料採取地点は概ね 1,000m² につき 1 地点程度を原則とすることがダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアルでは示されている。

他方で、土壌汚染対策法調査措置ガイドラインでは、土壌汚染状況調査の段階で、土壌汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地では 10m 格子（100m²）を、土壌汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地では 30m 格子（900m²）を設定し、それぞれの格子から試料を採取することとされている。

ダイオキシン類と土壌汚染対策法の特有害物質とで試料採取の頻度が大きく異なるのは、ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアルでは焼却施設等を主要な発生源として大気中へ拡散した後、地表面へ降下したダイオキシン類による汚染を想定して試料採取の頻度が決められているためだと推察される。

ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアルでは、上記の原則に対して、区分（格子）の間隔は対象地域の広さや調査目的に応じて適切に設定することを求めており、沖縄の米軍基地内で想定されるダイオキシン類の汚染シナリオが大気を経由しての広域的な拡散による汚染でない場合には、土壌汚染対策法調査措置ガイドラインに基づく試料採取の頻度にあわせてダイオキシン類の濃度を測定する試料も採取することが効率的である。

なお、大阪府では、大阪府生活環境の保全等に関する条例で、ダイオキシン類による汚染に対して土壌汚染対策法の特有害物質による汚染と同様の取り扱いをすることとしており、その調査及び対策の方法は「土壌汚染対策法及び大阪府生活環境保全条例に基づく土壌汚染の調査・対策の手引き」（平成 24 年 3 月改訂版、大阪府）に示されている。

参考：油分の汚染に対する対応について

沖縄の米軍基地では、燃料油系のほか、潤滑油、機械油など用途と性状が多様な油が使用されており、燃料油をはじめとする漏洩事案が生じている。

土壌汚染対策法では、油分という項目は定められておらず、油分に該当するもののうちベンゼンのみが特定有害物質に指定されている。

油含有土壌については、土地の所有者等が自らの土地における油汚染問題に対する基本的な考え方と対応方策選択の考え方等をまとめた「油汚染対策ガイドライン」（平成18年3月）が環境省により策定されている。

「油汚染対策ガイドライン」では、鉱油類を含む土壌に起因する油臭や油膜の把握において、基準値や規制値は定めず、嗅覚や視覚といった人の感覚によることを基本としており、それらを補完する形で、関係者の共通の理解を得るための手段として TPH（全石油系炭化水素：Total Petroleum Hydrocarbon）濃度を用いることとされている。

「油汚染対策ガイドライン」で TPH 試験を行うケースは以下の4つがある。

- ① 油臭や油膜の原因が鉱油類か否かの確認及び油種の同定
- ② 油含有土壌の平面及び深度方向の存在範囲の把握
- ③ 対策範囲の把握
- ④ 対策完了確認

沖縄の米軍基地の返還予定地において、油臭や油膜の原因の判定、地表面の油汚染問題の原因となっている油含有土壌の存在範囲の把握等に場面においては、「油汚染対策ガイドライン」に基づいて、TPH濃度の測定を行うことが望ましい。

なお、投棄された油分には、PCBが混入しているおそれがあり、また、それに由来するダイオキシン類についても考慮する必要がある。

また、石油系炭化水素で汚染された土壌によるリスクアセスメントに関する ISO規格（ISO 11504）が成立しており、油分の汚染に対する対応において参考とすべきである。

この ISO 11504 では、堆積物を含む土壌、土質材料および関連する材料中の石油系炭化水素について、人の健康、環境および他の潜在的受容体へのリスクを評価するために分析を行うときの石油系炭化水素画分や個々の化合物の選択方法の提案を規格化しており、石油系炭化水素に基づく多くの製品に含まれる炭化水素以外の化合物も包含している。⁹

⁹ 「ISO/TC190部会、石油系炭化水素汚染土壌によるリスクの評価に関するISO規格化の動き、第19回地下水土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、S5-09」（2013、中島誠、王寧、保高徹生）

5.6 盛土地調査

米軍基地の運用時に盛土造成がなされた土地においては、一般調査に加えて、鉛直方向の汚染を土壌汚染状況調査の段階から実施する。

これは、沖縄の米軍基地の建設前に谷地であった土地などに、投棄・埋設されたと考えられる廃棄物に由来する土壌汚染の事案が生じているためである。

埋設された廃棄物に由来する土壌汚染は、比較的狭い範囲に高濃度で存在する傾向があるため、試料を採取する空間的な頻度を密にとる必要がある。ただし、土壌汚染の調査のためだけに密にボーリングを実施することは、多大な調査を要求することとなる。また、地下水の帯水層に達する深さまでボーリング調査を行うことは、地下水の流れに影響を及ぼしかねず、汚染の拡大につながるおそれがある。特に、琉球石灰岩層ではその影響が大きいことから、調査の実施に際しては慎重に進める必要がある。

沖縄の米軍基地内に埋設された廃棄物に対しては、返還合意時の支障除去として地中レーダー等による廃棄物の調査が実施されることとなっている。また、不発弾に対しても、磁気探査を掘削しながら繰り返し行う経層探査やボーリングを実施しながら磁気探査を行う鉛直探査が行われることとなる。

ただし、地中レーダーや磁気探査では、土壌に浸透した汚染物質や、容器に封入されずに埋設された焼却灰や盛土材として汚染土壌が用いられた際の汚染を発見することが困難である。また、土壌汚染の調査が行われずに、不発弾の経層探査のための掘削が行われた場合には、有害物質が散逸するおそれがある。

不発弾の経層探査が行われる土地で盛土地調査を実施する場合の連携の例を図5-5に示す。

不発弾の探査を行う際に用いられる磁気探査計は、不発弾の大きさに応じて探査が可能な深度が異なり、最も小さい不発弾を探査するためには50cm深さが限度とされる。このため、より深い深度まで不発弾の探査を行うために、経層探査という方法がとられる。

経層探査は、①磁気探査計で不発弾を探査、②不発弾の存在が確認されればその処理、③不発弾がなかった場合や不発弾の処理後は探査が可能な深度まで掘削し、この①から③までの作業を順次目的とする深度まで繰り返し行うもので、③で掘削された土壌は、仮置きされ、次目的とする深度までの探査が終了した後に埋戻し材として用いられることとなる。

ただし、掘削された土壌が有害物質を含む汚染土壌であった場合に、その存在を確認せず仮置きや埋戻しの作業が行われると、有害物質が拡散してしまうおそれがある。

このため、上記の不発弾探査の②と③の作業の間に、不発弾が無いと確認された深度まで

の土壌について、土壌汚染であるか確認するための作業を加え、これにより汚染土壌であると判定された土壌は、他の健全土と混入しないよう掘削し、汚染土壌として必要な措置を講じるべきである。

盛土地調査では、このような点に留意しつつ、適宜、廃棄物調査や不発弾探査と連携し、効果的かつ効率的な土壌汚染の調査を実施することが求められる（不発弾探査、文化財調査等及び廃棄物探査並びに自然環境調査との関係についての詳細は参考資料 4.1 節に掲載）。

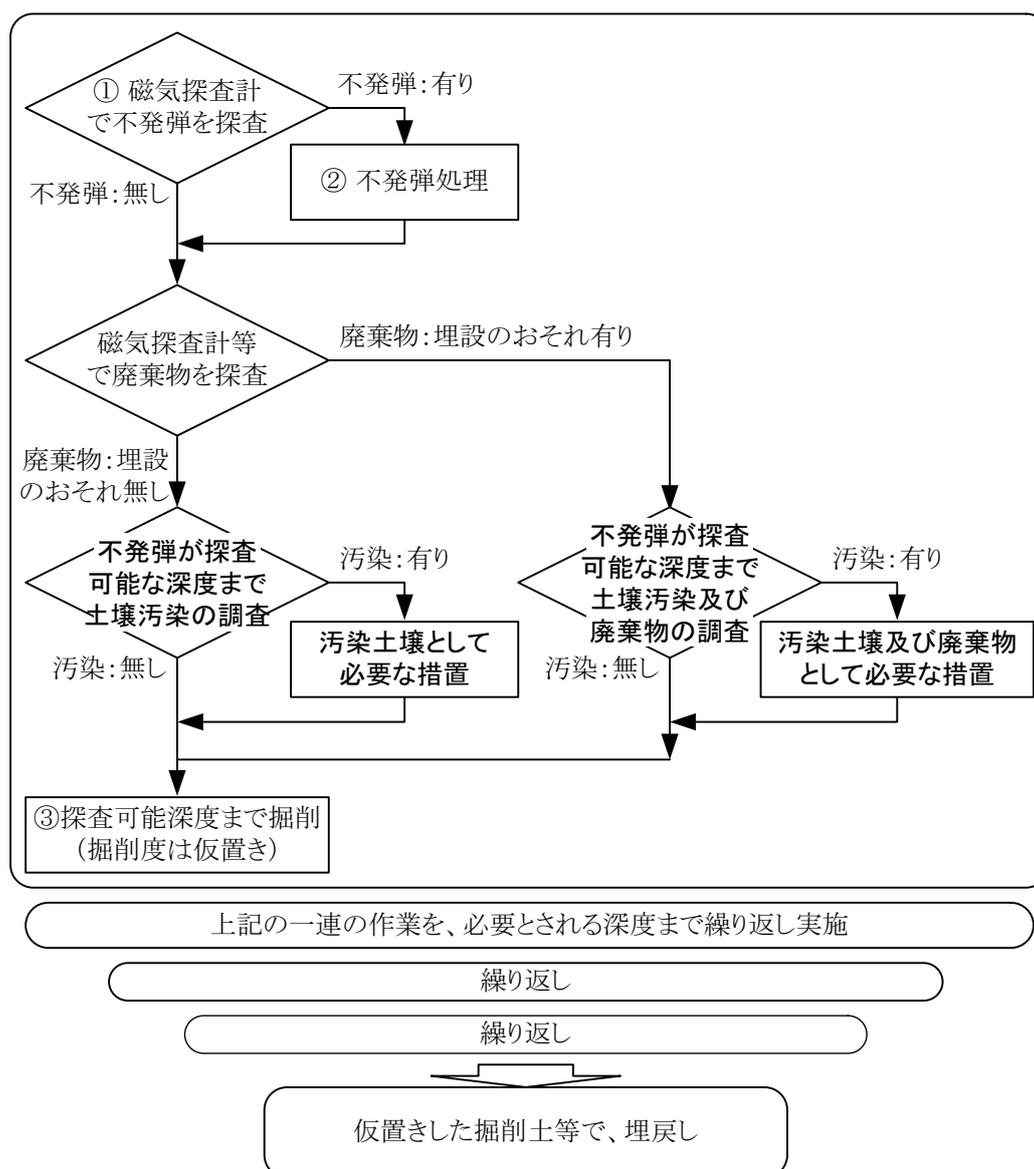


図 5-5 不発弾の経層探査が行われる土地で盛土地調査を実施する場合の連携の例

5.7 リスク評価調査

5.7.1 リスク評価手法の導入意義

一般的な環境リスクの考え方において、地下水・土壌中に有害物質が存在すること自体は有害性（ハザード）があるという。地下水・土壌汚染による環境リスクは、地下水・土壌中に存在する有害物質のハザードとばく露量（摂取量）との比較で評価される。

したがって、有害物質が土壌中に存在したとしてもばく露する機会がなければ環境リスクは生じないといえ、ばく露する機会があった場合でもばく露量が少なければ環境リスクが小さいといえる。この環境リスクの考え方を導入することで、ばく露経路を遮断してその機会をなくすことやハザードの大きさに応じてばく露量を設定することで環境リスクを許容されるレベル内に収めるための管理が可能となる。

このリスク管理では、対策方法としてばく露経路遮断、ばく露管理、ばく露量低減といった多くの選択肢を得ることとなる。したがって、汚染が生じている土地の状態や今後の利用計画に合わせて柔軟な対策方法を選択し、合理的かつ適正な環境対策を実施することができる（日本国内の土壌汚染に対してリスク評価を実施した事例は参考資料 5.1 節に掲載）。

なお、リスク評価を行なうに当たっては、影響対象（受容体）が人の健康であるか、生態系であるかによって、有害物質のハザード、ばく露経路及びリスク評価の方法が異なる。このため、以降の項で述べるリスク評価の考え方は、5.7.2 で人健康リスク評価の考え方について、5.7.3 で生態系リスク評価の考え方についてそれぞれ述べる。

5.7.2 人健康リスク評価の考え方

(1) 階層アプローチ

対象となる化学物質について、有害性とばく露量とを比較し、環境対策の必要性を検討することとなる。しかし、汚染のおそれがある物質全てについて、はじめから詳細なリスク評価を行なうことは、多大な時間および費用を要するため、現実的ではない。

欧米では土壌汚染対策を実施するための枠組みとして RBCA (Risk-Based Corrective Action; リスクに基づく修復措置) が多く用いられている¹⁰。

リスクに基づく修復措置のための規格ガイド¹¹によれば、RBCA の特徴は、「土壌汚染によって引き起こされる環境リスクの低減に主眼を置き、そのために実現可能な方法を階層別の検討によって合理的に決定し、実施すること」とされている。RBCA における各階層での実施内容の概要は表 5-10 に示すとおりで、初期サイトアセスメントを実施した後、三つの階層で環境リスクを評価している (RBCA プロセスの階層アプローチは参考資料 5.2 節に掲載)。

表 5-10 RBCA における各階層での実施内容の概要

階層	実施内容
初期サイトアセスメント	対象サイトの特性・汚染物質の最高濃度・環境リスクの緊急度を評価し、必要な対応措置 (暫定対策) を行う。
階層 1 評価	「最も安全側に見積もった対策目標レベル ^注 」と「対象サイトにおける最高濃度」を比較して修復対策の必要性を評価する。 注 ここでは、RBSL (risk-based screening level) と呼ばれる目標レベルを評価する。RBSL は、 <u>影響対象 (受容体) が汚染源の位置に存在すると仮定した場合の目標レベル</u> である。
階層 2 評価	「受容体までの移動による減衰などを考慮して見積もった対策目標レベル ^注 」と「対象サイトにおける最高濃度」を比較して修復対策の必要性を評価する。 注 ここでは SSTL (site screening target level) と呼ばれる目標レベルを評価する。SSTL は、現地調査の結果によるサイト特有の詳細な情報から、サイトの水文地質構造と地下水の特性、汚染物質の分布と濃度の変化等、 <u>受容体までの移動経路における汚染物質の拡散や吸着等の濃度減衰を考慮した目標レベル</u> である。
階層 3 評価	階層 2 評価における目標レベルの見積もりを、詳細な現地のパラメーターに基づく地中での汚染物質の移行シミュレーションや自然減衰の評価、受容体に対する詳細なリスク評価等、 <u>より精度の高い方法を用いて評価対象点の目標レベル (SSTL) を設定し、評価する。</u>

¹⁰ 「RBCA研究WG, RBCAによるリスク評価について (その1) -リスクアセスメントの考え方-」, 「地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第9回講演集」(2003年、中島誠)

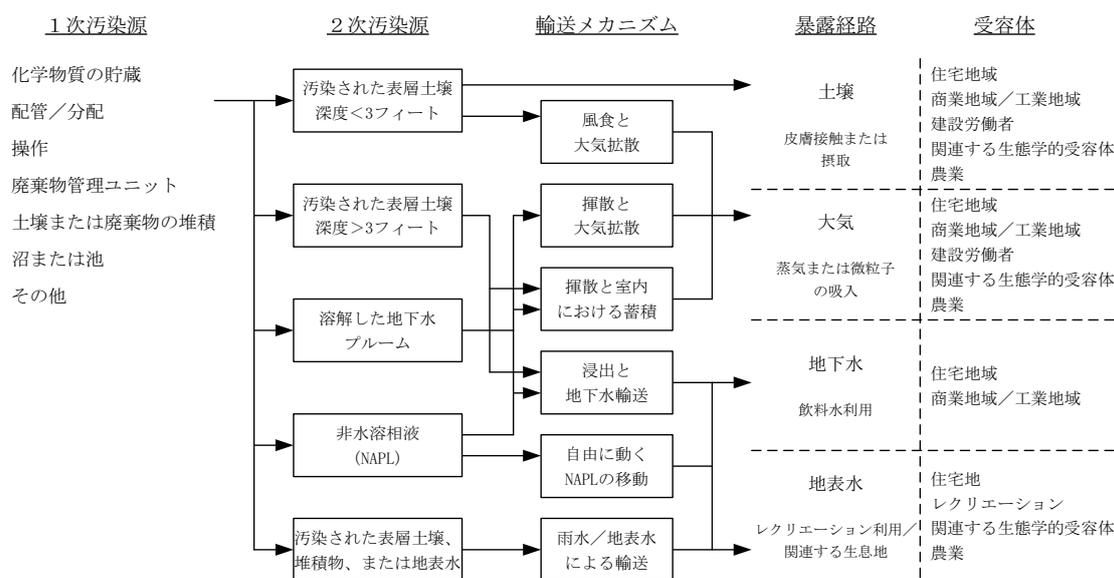
¹¹ 「インターリスク総研, RBCA E2081-00」, 「リスクに基づく修復措置のための規格ガイド ASTM」(2003年、米国材料試験協会 規格)

(2) ばく露経路

汚染土壌に含まれる汚染物質が影響対象（受容体）へ取り込まれるまでのばく露経路としては、汚染された地下水を飲用するほか、様々な経路がある。リスク評価では、これらのばく露について、汚染物質の物理化学特性や汚染サイト及びその周辺での土地利用等から、ばく露シナリオを設定し、それぞれの経路からの受容体へのばく露量を求めることとなる。

人へのばく露シナリオの評価フローチャートの例は、図 5-6 に示すとおりである。

米軍基地が返還される際にリスク評価を実施する場合には、返還後に想定される土地利用や周辺を含めた地下水利用等を踏まえ、土壌汚染に対するリスク評価の既往の研究及び事例を参考に、ばく露が想定される経路を適切に設定する必要がある。前述した階層別評価では、階層が上がるに従い、想定したそれぞれのばく露経路についてより精緻なばく露量を求めることとなる。（ばく露経路の選定方法は参考資料 5.3 節に、土壌汚染対策法におけるばく露の考え方は参考資料 5.4 節に、米国のスーパーファンド法におけるばく露経路は参考資料 5.5 節にそれぞれ掲載）



注：現在、また当然予想される将来の土地利用について、このフローチャート評価をした上で、リスクの検討に加えるべきである。

出典：「インターリスク総研, RBCA E2081-00」、「リスクに基づく修復措置のための規格ガイド ASTM」(2003、米国材料試験協会 規格)

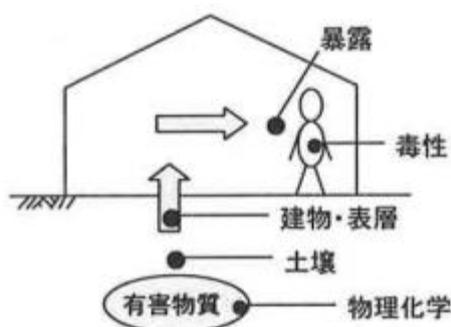
図 5-6 ばく露シナリオの評価フローチャートの例

(3) リスク評価モデル

リスクを算出するためには、汚染現場の有害物質濃度とばく露経路から摂取量を計算し、有害物質の毒性によりリスクを数値として算出することとなる。この算出では、図 5-7 に示すように数多くのパラメーターが必要となる。

沖縄の米軍基地の土壌汚染についてリスク評価を行なうに当たっては、RBCA のツールである RBCA Tool kit などのソフトウェアを用いることが効率的である。

ただし、欧米で開発されたソフトウェアにデフォルトで設定されているパラメーターの多くは、ソフトウェアが開発された土地において設定されたものであり、これらのパラメーターが沖縄の米軍基地内のリスク評価に適用できるかについて検討が必要である（リスク評価モデルでのパラメーター設定例は参考資料 5.6 節に、ASTM E1689-95(2014) Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites で示されたサイト概念モデルの作成の考え方は参考資料 5.7 節にそれぞれ掲載）。



- 注1：物理化学パラメーターは、土壌－地下水－空気中における有害物質の状態・移動を計算するために用いられる。
- 2：建物パラメーターは、浅層土壌および地下水を汚染源とする室内空気経ばく露のリスク計算に用いられる。
- 3：表層パラメーターは、表層土壌または浅層土壌を汚染源とする屋外空気経由のリスクの算定に用いられる。
- 4：土壌パラメーターは、「土壌の性質を表すパラメーター」と「土壌の状態を表すパラメーター」がある。「土壌の性質」には、土壌体積密度（乾土）、毛管水縁の高さ、土壌中有機炭素含有量、土壌間隙率、毛管水縁域の土壌体積含水率、土壌体積空気含有率がある。「土壌の状態」には、不飽和層の厚さ、地下水の深さ、表層土壌の厚さ、土壌と水の pH がある。
- 5：ばく露パラメーターは、ヒトの体と生活様式に関するパラメーターで、有害物質の摂取経路は、摂食、吸入、皮膚摂取に大別される。
- 6：毒性パラメーターは、ばく露経路（吸入、経口）と毒性区分（閾値のある毒性と閾値のない毒性）のパラメーターがある。

出典：「RBCA 研究 WG, RBCA によるリスク評価について（その2）ーリスク計算に用いるパラメーターについてー」, 「地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第9回講演集, pp. 500-503」(2003、藤長愛一郎)

図 5-7 リスク計算に必要なパラメーターの分類の概念図

(4) 沖縄島の特性に合わせたリスク評価の考え方

沖縄の米軍基地の地下水・土壌汚染に対するリスク評価においても、階層アプローチをとることで、段階を経るごとに汚染物質及び地域の絞込みがなされることから、効率的な調査を行うことができる。ただし、米軍基地内での化学物質の利用の詳細や汚染の状況を把握するための既存資料が得られにくいことが想定され、早期の跡地利用を目指すなかでは、RBCAで実施される階層アプローチを沖縄の米軍基地内にそのまま適用することには困難が伴う。

土壌汚染対策法に基づく調査でも、ハザードでの評価ではあるが、地歴等の調査を実施した上で、状況調査、詳細調査と段階を経て調査を実施することとなっている。

それらを踏まえると、リスク評価の対象となる土壌汚染に対しては、RBCAの初期サイトアセスメントに相当するものとして、まずは「地歴調査」を実施し、汚染の状況に関する既存資料が得られない場合にあっては、「スクリーニング調査」において主なばく露経路で有害物質が存在しているかを確認すべきである。

その上で、存在が確認された物質及び土地について、「リスク評価のための調査」を実施すべきである。RBCAでは階層1から階層3へ段階的にリスク評価が行われ、その途中のいずれかの段階から環境対策に進むこととしており、必要十分な環境対策を行う上で適正なプロセスであると考えるが、他方で、米軍基地跡地を早期に地権者等へ引渡し、跡地の利用を推進させるということからは階層を経ることでリスク評価に要する期間が長期となることに留意する必要がある。

また、返還が予定される米軍基地の多くは、琉球石灰岩層からなるカルスト地形の上に存在する。カルスト地形には洞窟網が形成されており、そこを流れる地下水の流動に関する解析は未だ研究途上にある。汚染土壌から溶出した汚染水は、その流動において混合あるいは希釈されることとなり、さらに物質によっては汚染物質の地層への吸脱着や生化学的分解・生成なども生ずる。汚染物質が受容体に至るまでの地下水中の濃度変化を実態により近いものとして解き明かし、精緻にばく露量を算出することは現時点では困難であると考えられ、仮に実施するとしても多大な調査が必要となることが想定される。

以上を踏まえると、現時点においては、沖縄の米軍基地において実施する「リスク評価のための調査」で、RBCAの階層1に相当する「最も安全側に見積もった対策目標レベル」と「対象サイトにおける最高濃度」を求めることを当面の目標とし、そのために必要となるデータ取得を基本とするものとする。

さらに、汚染されたサイトの状況や、より精緻な評価を実施することが可能であると判断されるほどに知見の蓄積が進むなど、リスク評価を実施する時点での状況に応じてRBCAの階層2や階層3に相当するより高い階層での精緻な解析に基づく

リスク評価について検討を加えることが妥当である。

なお、沖縄の米軍基地内に生じた土壌汚染に対し、より精緻なリスク評価の実施に資することを目的に、同じカルスト地形であるグアム島の米軍基地を対象に実施されたリスク評価の事例等を参考資料 5.8 節に、より精緻なリスク評価を実施する上で課題となるカルスト地形内の地下水流動を対象とした近年の研究事例を参考資料 5.9 節にそれぞれに掲載している。

本ガイドラインで示すリスク評価では、有害物質の有害性情報から求まるばく露許容量を「対策目標レベル」として設定し、対象サイトにおける土壌濃度から求まる受容体へのばく露量とを比較することにより、ばく露量が許容量を上回った場合（ばく露量を対策目標レベルで除すことにより求まるばく露量/ハザード比が 1 を超過した場合）にリスクが有ると判定する。

1) 最も安全側に見積もった対策目標レベルの算定

対策目標レベルとしてのばく露許容量の算定では、化審法の優先評価化学物質に該当するか否かを判定するためのスクリーニング評価における有害性評価¹²の考え方を参考に実施する（優先評価化学物質に該当するか否かを判定するためのスクリーニング評価における有害性情報の収集及び選定については参考資料 5.10 節に掲載）。

なお、環境中で分解が懸念される物質については、その分解生成物の有害性情報も収集し、分解生成物としてのばく露許容量についても算定し、評価する。

2) 対象サイトにおける最高濃度によるばく露量の算定

対象とするサイトの土地及び地下水の利用状況から人へのばく露シナリオを設定し、そのシナリオにおいてばく露が想定される経路それぞれにおいて、ばく露量を算定する。

対象サイトにおける最高濃度は、想定されるばく露シナリオから個別に算定される濃度の最大値として算定されるため、ばく露シナリオ個別の算定方法が必要である。算定方法を整理すべきばく露シナリオとしては表 5-11 に示すものが考えられ、ここでは、③地下水へ溶出したものを飲用する経路、④大気中へ揮散したものを吸引する経路の 2 つの経路について、具体的な算定方法を整理し、算定に必要なパラメーター等も整理する。

なお、⑤魚介類へ蓄積したものを食餌経由で摂取並びに⑥農作物および家畜へ蓄積したものを食餌経由で摂取の経路については、沖縄の米軍基地の土壌汚

¹² 「化審法における人健康影響に関する有害性データの信頼性評価等について」（2011、経済産業省）
http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/files/information/ra/reliability_criteria03.pdf

染に由来するばく露としては、他の①から④の経路と比較してばく露量が小さいと考えられることから、汚染が確認された物質の特性から摂食経路における相当量のばく露が想定される場合にあつては、それらのばく露経路からの寄与を加えるかの検討を行うこととする（米国スーパーファンド法でのばく露別のばく露の算出方法は参考資料 5.11 節に掲載）。

表 5-11 人へのばく露シナリオとその算定方法

	ばく露シナリオ	ばく露経路	算定方法
①	汚染土壌の摂食	直接ばく露	土壌の濃度×摂食量
②	汚染土壌との接触による皮膚吸収	直接ばく露	土壌の濃度×接触量×吸収率
③	地下水へ溶出したものを飲用	飲用	地下水の濃度×摂水量
④	大気中へ揮散したものを吸入	吸入	大気中の濃度×呼吸量
⑤	公共用水域へ土壌粒子が流出し 魚介類へ蓄積したものを食餌経路で摂取	摂食	相当量のばく露が想定される 場合にあつては食事時の濃度 を実測することにより確認
⑥	農作物および家畜へ蓄積したものを 食餌経路で摂食	摂食	

(7) 汚染物質の土壌濃度の算定方法

汚染物質の土壌濃度は、現地調査により得られた濃度を用いることとする。得られた濃度に濃淡の分布が生じている場合にあつては、想定される土地利用において生ずるばく露の発生源となる範囲を設定し、現実的なばく露量となるよう、その範囲内において得られた濃度の平均値を集計して用いることとする。

(イ) 汚染物質の地下水濃度の算定方法

汚染物質の地下水の濃度の算定では、土壌内の汚染物質濃度のデータがある場合と汚染プルームの地下水の濃度のデータそのものがある場合の 2 つの場合がある（図 5-8）。

受容体のばく露を評価する上で妥当な地下水の濃度データが直接得られている場合の最高濃度はその濃度データをそのまま評価に用いればよいので算定は不要である。

一方で、土壌の濃度データがある場合は、図 5-8 に示した溶出・地下水面までの浸透・浸透液と地下水との混合といったプロセスに伴う濃度の減衰を考慮して濃度を算定する。

土壌の濃度から地下水の濃度を算定する方法の例としては、石灰岩地盤を有する地域の特性に合わせてグアム島で適用された手法が「PBESL2012¹³」としてとりまとめられており、それらを参考に実施する（PBESL2012 で取りまとめられた汚染物質の地下水の最高濃度の算定方法は参考資料 5.12 節に掲載）。

¹³ CNMI DEQ and Guam EPA, Evaluation of Environmental Hazards at Sites with Contaminated Soil and Groundwater Pacific Basin Edition, CNMI DEQ and Guam EPA. (2012)

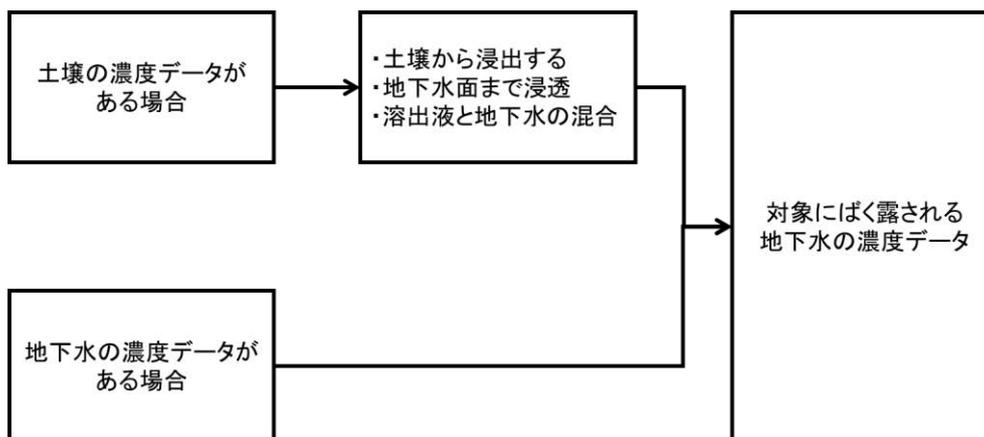


図 5-8 汚染物質の地下水の最高濃度の算定プロセス

(ウ) 汚染物質の大気濃度の算定方法

汚染物質の大気濃度を算定するに当たり、土壌及び地下水の濃度データの有無、汚染の深さ、ばく露される場所から、6種類のケースに分けられ、それぞれのケースについてばく露濃度の算定式が必要となる（図 5-9）。

RBCA での評価においては、それぞれの方法についてソフトウェアとして整理されており、それらを参考に、算定に必要なパラメーターの適用性を確認した上で算定する（RBCA Tool kit での汚染物質の大気の最高濃度の算定方法は参考資料 5.13 節に掲載）。

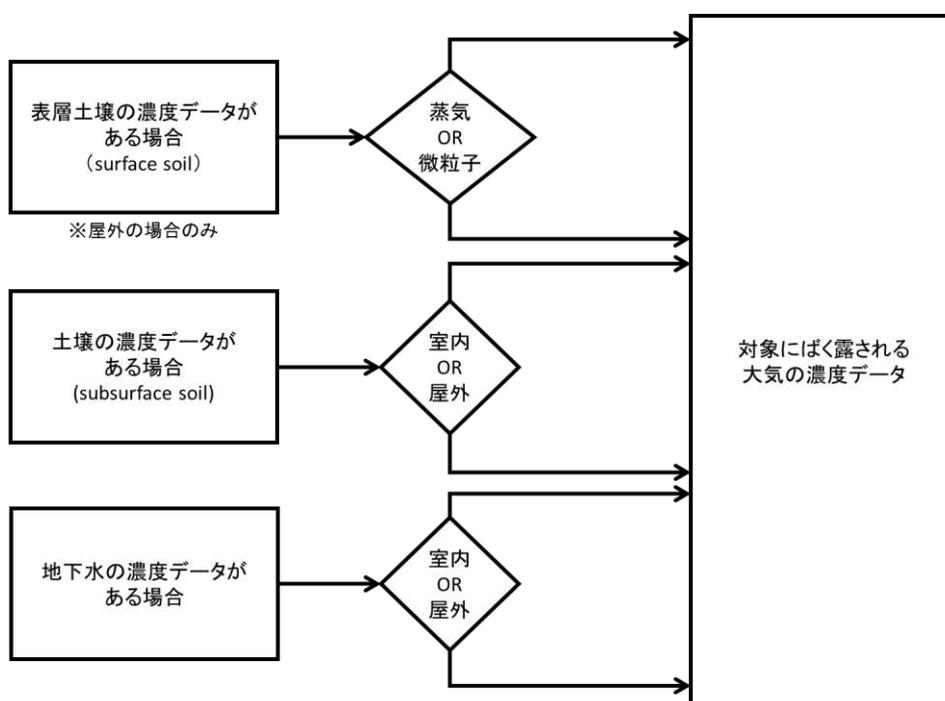


図 5-9 土壌・地下水データから大気濃度を算定するプロセス

5.7.3 生態系リスク評価の考え方

(1) 沖縄島の特性に合わせたリスク評価の考え方

生態系へのばく露シナリオは、受容体となる生物種又は生物群の特性に応じたばく露経路を設定する必要がある。さらに、ばく露量を算定するためには、有害物質が受容体である個々の生物種又は生物群に至るまでの過程を定量的に解き明かさなければならない。

現在、国内で実施されている生態リスク評価の1つに、化審法における優先評価化学物質のリスク評価があり、生活環境動物を受容体として一般的な水生生物等の予測環境濃度（PEC）と予測無影響濃度（PNEC）とを比較することでリスク評価をしている。

沖縄の米軍基地の土壤汚染に対する生態系へのリスク評価では、化審法を参考に、まずは、非汚染水による希釈を受けていない湧水中の濃度を PEC とし、一般的な水生生物の PNEC と比較するスクリーニング調査を実施し、その結果において PEC/PNEC 比が 1 に近い値であるなどリスク評価が必要とされた場合にあっては、湧水が流出した先での環境やそこに生息する生物種又は生物群の特性を踏まえたばく露シナリオを設定してリスク評価を行なうものとする。

1) 予測無影響濃度（PNEC）の算定

PNEC の算定では、化審法の優先評価化学物質に該当するか否かを判定するためのスクリーニング評価における有害性評価¹⁴の考え方を参考に実施する（優先評価化学物質に該当するか否かを判定するためのスクリーニング評価における有害性情報の収集及び選定については参考資料 5.10 節に掲載）。

2) 予測環境濃度（PEC）の算定

沖縄の米軍基地の土壤汚染に対する生態系へのリスク評価では、前述の通り、まずは、非汚染水による希釈を受けていない湧水中の濃度を PEC としてリスク評価を行なうこととする。

湧水中の濃度は、前述の(1)汚染物質の地下水濃度の算定方法で述べた算定方法と同様に、湧水又は地下水の濃度データが有る場合にはその値を用いることとし、湧水又は地下水の濃度データは無い場合には土壤の濃度から前掲の図 5-8 に示した浸出・地下水面までの移動・浸出液と地下水との混合といったプロセスに伴う濃度の減衰を考慮して濃度を算定する。

¹⁴ 「化審法における生態影響に関する有害性データの信頼性評価等について」（2011、経済産業省）
http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/files/information/ra/reliability_criteria04.pdf

5.7.4 リスク評価の実施

前述の 5.3 地歴調査において、基地内相当量使用物質による汚染のおそれがある場合（否定できない場合を含む）には、リスク評価を実施することとなる。

リスク評価では、実環境において基地内相当量使用物質の存在を確認するための(1)スクリーニング調査、リスク評価に必要となるデータを資料調査及び現地調査により取得するための(2)リスク評価データ取得調査並びに(3)リスクの程度について評価するリスク評価（方法は前述の 5.7.2(4)及び 5.7.3(1)の沖縄島の特性に合わせたリスク評価の考え方を参照）の三段階で行う。

(1) スクリーニング調査

前述の 5.3 地歴調査では、有害物質の使用等に関する詳細な資料が得られず、使用していた化学物質の絞込みが行えず、対象とする土地の利用状況や施設の設置状況等から、用途として用いられることが考えられる複数の化学物質について網羅的に検討することが想定される。

例えば、演習場や弾薬庫においては、弾薬類の汚染のおそれがあることが否定できない。ただし、対象とした土地において実際に使用や保管された弾薬類を構成する特定の化学物質に絞り込むためには、過去に遡ってその弾薬類の管理資料を確認する必要があるが、化学物質の絞込みが可能なほどの管理資料が全て得られるかは不明である。

このため、例えば演習場であれば弾薬類について対象とするなど、対象とする土地の利用状況や施設の設置状況等から利用が想定される化学物質群について、主なばく露経路で存在しているかを確認し、確認された物質について詳細なデータを取得し、その結果においてリスク評価を実施する。

汚染土壌中の有害物質が受容体に至るばく露は様々な経路が想定されるが、それらの経路のほとんどは地下水又は表層土壌を経ている。このため、地下水と表層土壌でまずは有害物質の存在について確認することとする。

1) スクリーニングレベルの設定

有害物質の存在は、代表地点で採取した試料中の濃度が、スクリーニングレベル以上の濃度であるかをもって判断する。

沖縄の米軍基地の土壤汚染に係るリスクを検討する際のスクリーニングレベルは、資料調査等において汚染のおそれがあるとされた有害物質が、実際の環境においてスクリーニングレベルを上回る濃度で存在するか否かをスクリーニング調査で確認し、リスク評価のための調査を実施するか判断するためのものである。

沖縄の米軍基地におけるスクリーニング調査では、実際の環境において存在す

るかの確認を、主なばく露経路である表層土壌及び地下水等の濃度を測定することによって行うこととする。ただし、揮発性が高い物質については、土壌や地下水から揮発した有害物質の吸引ばく露も想定されることから、物質の特性に応じて主なばく露経路として調査すべき媒体を適宜設定することが求められる。

基地内相当量使用物質のスクリーニングレベルはスクリーニング調査時点での不確実性を加味した濃度とすべきで、人健康リスクの評価においては前述の5.4 国内法使用禁止等物質の管理目標値の設定において示した算定方法と同様の方法で求められる値（溶出は地下水等の濃度として、含有は表層土壌の含有濃度として）を不確実係数で除した濃度として、生態系リスクの評価においては前述の5.7.3(1)1) 予測無影響濃度（PNEC）の算定において示した PNEC を不確実係数で除した濃度としてそれぞれ設定する。

なお、不確実係数をどの程度の値とすべきかについてはスクリーニング調査時の不確実性によるが、国内で実施されている環境中の化学物質に関する初期段階のリスク評価でさらなる情報収集や、より詳細な評価を行なうべきと評価される際のばく露量マージン（MOE、無毒性量等をばく露量で除した値）を参考に、100とすることが一案として考えられる。

2) 現地調査

試料を採取する代表地点は、現在の米軍基地周辺の土地利用や返還後に予定される米軍基地内での土地利用を踏まえ、安全側の結果が得られるよう配慮し、別に土壌汚染対策法で定める特定有害物質等を対象に実施する土壌汚染状況調査で試料を採取する地点をベースに設定するものとする。

地下水は、米軍基地内の地下水を水源とする湧水や米軍基地周辺の井戸で試料を採取するとともに、返還される土地内において地下水の利用が見込まれる場合にあっては利水が見込まれる地点の地下水を採取することとする。

得られた試料中の濃度を分析する際には、環境中で対象とした有害物質の分解が懸念される場合にあってはその分解生成物も分析の対象とする。

なお、表層土壌は、想定される有害物質の利用方法に応じて試料を採取する空間的な頻度が異なると考えられるが、一般調査において採取した土壌試料を活用して、分析が可能な感度を勘案し、スクリーニングレベルにおいて存在を検出することが可能な範囲において複数の試料を混合して分析することが効率的である。

参考：分析可能な感度に応じた試料の混合数

スクリーニング調査では、有害物質が存在するか否かを判断することが目的であり、有害物質の濃度や空間的な分布については、その後に実施するリスク評価データ取得調査で把握することとなる。

分析法の検出感度が、スクリーニングレベルの 1/10 まで定量可能な方法であれば、10 試料を等量混合して分析した結果が定量下限値未満であれば、混合した 10 試料全てがスクリーニングレベル未満であると言える。

ただし、混合した試料で有害物質がスクリーニングレベル未満で定量された場合には、それが混合した試料のいずれかでスクリーニングレベル以上となっている可能性があるため、さらにそれぞれの試料で別々に測定を行うことが必要となる。

このため、分析する方法の検出感度とスクリーニングレベルの関係、対象とする有害物質による汚染のおそれの程度等から効率的な混合数を設定することとなる。

(2) リスク評価データ取得調査

スクリーニング調査で、存在が確認された有害物質及びその分解生成物については、そのリスクについて評価することとなる。リスク評価においてばく露量を算定するためには、土壌中の詳細な存在状況等と、その存在状況から受容体へのばく露量を算定するための諸数値が必要となる。

ばく露量を算定するための諸係数について、既往の研究や類似する土地での調査結果から得られた値を用いる場合は、その妥当性について検証した上で設定すべきであり、妥当性が確認できない場合には現地調査においてデータを取得することが望ましい。

1) 土壌中の詳細な存在状況の把握等

土壌中の詳細な存在状況は、現地調査において把握することとなり、一般調査及び盛土地調査で汚染の範囲を求めるために実施する詳細調査と同様の調査を実施することとなる。調査の範囲は、原則としてスクリーニングレベルを上回る濃度で有害物質が存在する範囲とする。濃度の測定は含有量に対して行うとともに、濃度と溶出量との関係から吸着等温線を作成するために一部の地点で溶出量も測定する。

また、地下水の流況、水質及び利水状況などのデータについても、既存資料調査及び現地調査により取得する。

2) 受容体へのばく露量を算定するための諸数値の設定

諸数値の設定方法として、ここでは、沖縄島の土壌・地下水特性から他の地域で取得された結果を用いることが妥当ではないとされる地下水の濃度を設定するために必要な諸数値を求めるための調査方法について記載する。

(7) 土壌の物理学的性状に関する係数を求めるための試験

乾燥した土壌のバルク密度 ρ_b (g/cm^3)、水で満たされた間隙率 θ_w (cm^3/cm^3) 及

び空気で満たされた空隙率 θ_a (cm^3/cm^3) は、現地において採取した土壌について表 5-12 に示す試験方法を実施することで設定できる。

表 5-12 土壌の物理学的性状を求めるための試験

試験方法	規格番号	記号	単位
土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	ρ_s	g/cm^3
土の含水比試験方法	JIS A 1203	w	weight-%
土粒子の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	ρ_t	g/cm^3

これらの結果から、次式に示す関係において、それぞれの諸係数を設定するものとする。

$$\rho_t = (1 - n) \rho_s + n \rho_w$$

ここで、 n : 土壌の間隙率 (cm^3/cm^3)、 ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)

$$(1 - n) \rho_s = \rho_b$$

$$w = \frac{\theta_w \rho_w}{\theta_w \rho_w + \rho_b}$$

$$n = \theta_w + \theta_a$$

(イ) 土壌の化学的性状に関する係数を求めるための試験

地下水の最高濃度の算定において用いられる土壌と水の分配係数 K_d (cm^3/g) は、含有量 C_c (mg/kg) と溶出量 C_e (mg/L) とを求め、式に示す関係から設定するものとする。

$$K_d = \frac{C_c - 10 C_e}{C_e}$$

なお、この際の、含有量 C_c は土壌汚染対策法の土壌含有量を求める方法とは異なり、全含有量を求める必要があることに留意が必要である。

溶出量 C_e については、溶出量と間隙水・浸透水濃度等とを等しいとみなしてよいかについての課題はあるが、一般調査等において土壌汚染対策法で定める特定有害物質の溶出量試験を行う際に得られる検液を活用することで、効率化が期待できる。また、溶出量試験の検液の作成方法についても課題があることも指摘されており¹⁵、より実際に近い条件で実施するカラム試験で得られる結果と差異が生じるとの報告¹⁶もある。ことから、より精緻に地下水濃度を算出するにあたっては、汚染土壌を充てんした円柱管内に通水し流出した溶液の濃度を測定するカラム試験において分配係数 K_d を求めることについて検討すべきである。

¹⁵中央環境審議会土壌農薬部会土壌制度小委員会（第1回）資料6 土壌汚染対策の現状と主な課題（平成28年3月28日）

¹⁶「膜厚さに着目したバッチとカラム溶出試験における溶出挙動の比較」, 「第7回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.155-162」（2007、遠藤和人、肴倉宏史、大迫政浩）

5.8 国内法使用禁止等物質及び基地内相当量使用物質の分析法

国内法使用禁止等物質や基地内相当量使用物質について土壌中の含有量や溶出量として土壌汚染の濃度を測定することを目的に、法令等で規定した分析方法（公定法）は存在しない。

公定法のない物質を分析する際には、他の目的で定められた分析方法や国外で公定法として採用されている方法（必要であれば他のマニュアル、技術報文等も）を参照し、適切な分析方法を検討することとなる。公開されている主な分析方法の出典とその概要を表 5-13 に示す。

いずれの場合においても、適切な品質管理及び精度管理を行い、調査において対象物質に係る汚染の評価基準を適切に判断できる（分析の検出下限値が十分に小さい）ことを確認する必要がある。なお、これら汚染物質の分析方法に関する指針及び分析に関する精度管理は参考資料の第6章に掲載している。

表 5-13 分析対象物質の種類と主な分析方法

分析対象物質の種類	主な分析方法	分析方法の内容
金属および無機化合物	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS K0102 ・ 底質調査方法 ・ 要調査項目等調査マニュアル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ フレーム原子吸光法 ・ 電気加熱原子吸光法 ・ ICP 発光分光分析法 ・ ICP 質量分析法
揮発性有機化合物(VOC)	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS K0125 ・ 底質調査方法 ・ 要調査項目等調査マニュアル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ P&T 又は HS - GC/FID、GC/ECD 又は GC/MS
多環芳香族炭化水素(PAHs)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底質調査方法 ・ 外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル ・ 要調査項目等調査マニュアル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC/MS
農薬類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底質調査方法 ・ 農薬等の環境残留実態調査分析法 ・ 外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル ・ 化学物質と環境(化学物質環境実態調査 調査結果報告書) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC/ECD 又は GC/MS
燃料・油類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 油汚染対策ガイドライン ・ 底質調査方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC/FID 又は GC/MS ・ 赤外分光分析法 ・ 重量法(ノルマルヘキサン抽出法)
POPs	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底質調査方法 ・ 農薬等の環境残留実態調査分析法 ・ JIS K0312 ・ 外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル ・ 化学物質と環境(化学物質環境実態調査 調査結果報告書) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC/ECD 又は GC/MS
爆薬類、推進剤等	<ul style="list-style-type: none"> ・ EPA METHOD 8330 ・ EPA METHOD 8095 ・ EPA METHOD 314.0 ・ 要調査項目等調査マニュアル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC/ECD 又は GC/MS ・ HPLC/UV 又は LC/MS ・ IC

注：分析法の内容として示した略称は以下を意味する。

P&T：パージ・トラップ、HS：ヘッドスペース、GC/FID：ガスクロマトグラフ/水素炎イオン検出法、GC/ECD：ガスクロマトグラフ/電子捕獲検出法、GC/MS：ガスクロマトグラフ/質量分析法、HPLC/UV：高速液体クロマトグラフ/紫外可視吸光法、LC/MS：液体クロマトグラフ質量分析法、IC：イオンクロマトグラフ法

5.9 環境対策の考え方

5.9.1 対策実施の考え方

本ガイドラインで地下水・土壌汚染の対象とした「土壌汚染対策法で定める特定有害物質」、「ダイオキシン類」、「国内法使用禁止等物質」及び「基地内相当量使用物質等」の4種について、それぞれ対策実施の考え方を以下に示す。

(1) 土壌汚染対策法で定める特定有害物質

土壌汚染対策法で定める特定有害物質による汚染土壌の対策については、土壌汚染対策法を参考に実施する。汚染土壌の処理・処分方法等の具体的内容は、土壌汚染対策法調査措置ガイドラインに定められている（土壌汚染対策法に則した環境対策の考え方は参考資料7.1節に掲載）。

土壌汚染対策法では、基準不適合土壌の対策実施目的が「土壌汚染の経路を遮断することにより、当該土壌汚染による人の健康に係る被害を防止すること」であり、ばく露管理やばく露経路遮断という「土壌汚染のリスク管理」を基本とした必要かつ合理的なリスク低減措置を講じることとしている。そのため、土地利用計画の内容によっては汚染土壌を残存しながら、継続的なモニタリングを実施して汚染拡散がないことを確認していくという措置も取られる。また、土壌調査時には将来の土地利用計画が定まっていない場合もあり、土地利用計画策定時に再度汚染土壌対策を実施する可能性も想定される。

一方、不発弾の経層探査を実施する場合、0.5m層ごとに土壌を掘削することから、調査中に土壌汚染対策法における「土壌汚染の除去」対策が途中段階まで行われることとなり、掘削した汚染土壌は場外へ搬出することが効率的である（経層探査と土壌汚染調査との関係について、その概要は「5.6 盛土地調査」を、文化財調査等及び廃棄物探査並びに自然環境調査を含めた関係についての詳細は参考資料4.1節をそれぞれ参照のこと。）。

したがって、土壌汚染対策法における対策を検討する際には、土壌汚染のリスク管理を基本とされるが、返還合意時の対策を検討するにあたっては、土地利用計画の内容及び不発弾探査等の他調査の内容も勘案した必要かつ合理的な環境対策を検討し、土地所有者及び地域住民による住民参画を経て適切な対策を選定するものとする。

なお、掘削除去等による区域外措置が行われた場合には、沖縄県内での処理能力が限定され県外において処理せざるを得ないことも想定され、埋め戻し土壌に用いることのできる清浄であることが確認できた土壌も限られることから、埋め戻し土壌が不足することに留意が必要である。

(2) ダイオキシン類

ダイオキシン類汚染土壤の対策は、ダイオキシン類土壤汚染対策事業実施要領（環境省、平成13年3月13日）において主に「原位置浄化処理」、「掘削除去」及び「原位置封込め」としており、それらの具体的内容は建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染土壤対策マニュアル（2005年12月、独立行政法人土木研究所）に記載されている（ダイオキシン類特別措置法に則した環境対策の考え方は参考資料7.2に掲載）。

上記のマニュアルでは、ダイオキシン類濃度及び汚染土壤搬出の有無により、「浄化処理」、「掘削搬出処分」及び「汚染拡大防止措置」の3つの対策を挙げている。しかしながら、前述のとおり米軍基地跡地においては返還合意時に不発弾探査が実施され、経層探査が実施される多くのケースにおいては、汚染土壤を掘削し場外へ搬出することが効率的で、このような場合は汚染土壤を区域内に残す「汚染拡大防止措置」による対策は原則として選択しないこととなる。

したがって、ダイオキシン類についても、返還合意時の調査で環境基準を超過する際には、土壤汚染対策法の特定有害物質と同様に、不発弾探査等の調査内容を勘案した必要かつ合理的な環境対策を検討し、土地所有者及び地域住民による住民参画を経て適切な対策を選定する。

(3) 国内法使用禁止等物質

国内法使用禁止等物質については、管理目標値を超過する場合において、基本的には除去又は浄化の措置を行うべきであり、不発弾探査等の調査内容を勘案し、土地所有者と相談して除去又は浄化の措置のいずれかを選定する。

(4) 基地内相当量使用物質等

基地内相当量使用物質等については、各対象地域においてリスク評価を実施し、問題があるとの結果が出た場合には、想定されるべく露経路から、各物質の特性に応じてリスクを低減するための対策を実施することとなる。

このため、基本的には土壤汚染対策法における考え方と同様に土壤汚染のリスク管理を基本となる。ただし、返還合意時には、前述の通り、不発弾の経層探査が実施される土地では掘削した汚染土壤は場外へ搬出することが効率的で、不発弾探査等の調査内容を勘案した必要かつ合理的な環境対策を検討し、土地所有者及び地域住民による住民参画を経て適切な対策を選定する。

5.9.2 モニタリング

対策を実施する際には、汚染水が周囲へ流出したり、汚染された粉じんが周辺へ飛散することによりばく露が生じないように、地下水や飛散粉じん中の濃度を測定するなどのモニタリングを実施する必要がある。

また、ばく露経路遮断等の対策を講じることにより汚染土壌が現地に残る対策を講じた場合にあっては、講じた措置が有効であることを確認するため、対策実施後もモニタリングを継続する必要がある。

(1) 対策実施時

汚染土壌の掘削除去及び汚染土壌周辺の掘削を行う時には、汚染土壌又は汚染物質が周辺環境へ流出、飛散及び揮散していないことを確認するためのモニタリングを実施する。

1) モニタリング対象

地下水及び大気浮遊物質で実施する。地下水の採取に関しては、沖縄特有の琉球石灰岩の性質に鑑みると、ボーリングを実施することにより地下水への土壌粒子の混入及び地下水流動の変化の可能性が考えられることから、掘削個所の近傍に地下水の採取が可能な既存の井戸がある場合はその井戸で実施することが望ましい。

2) モニタリング方法等

モニタリング項目、モニタリング頻度及びモニタリング方法等については、土壌汚染対策法調査措置ガイドラインを参考に、表 5-14 に示すとおりとする。

表 5-14 汚染土壌の掘削除去時のモニタリング方法等

対象媒体	モニタリング内容	
地下水	測定対象	地下水の水質、水位
	対象物質	汚染土壌から検出した汚染物質
	測定位置	地下水流向を参考に土壌汚染エリアの下流域の1地点以上 ^{注2}
	測定頻度	日常管理（水位）： 毎日～1回/週 定期管理（水質）： 例えば4回/年
	測定期間	汚染土壌の掘削除去工事の着手前から工事終了後 ^{注3} まで
	測定方法	公定法
	管理基準	汚染土壌と判定した基準
大気浮遊物質	対象物質	浮遊粉じん、浮遊粉じん中対象物質、揮発性物質
	測定位置	作業エリア内または敷地境界等
	測定頻度	日常管理（浮遊粉じん）： 毎日～1回/週 定期管理（浮遊粉じん中対象物質）： 例えば工事の中で最も粉じんが発生すると予想される時期
	測定期間	汚染土壌の掘削除去工事の着手前から工事終了後まで
	測定方法	浮遊粉じん： ベータ線吸収方式 浮遊粉じん中対象物質： ハイボリュームエアースンプラーで採取し、分析
	管理基準	・大気における環境基準等の環境法令に定めている基準 ・有害性情報等から算出した基準等

注1：表中斜体は土壌汚染対策法調査措置ガイドラインを参考に本資料において設定

2：地下水の測定において掘削個所の近傍で適切な監視が可能な既存の井戸がある場合はその井戸で実施することが望ましい。

3：地下水の測定において工事終了後とは、掘削終了後に掘削した地点を流下した地下水が測定地点に到達するまでの期間を考慮して適切に設定すること。

4：大気浮遊物質について、工事の影響以外の要素を確認する場合は、沖縄県の衛生環境研究所が実施している微小粒子状物質（PM2.5）成分分析結果や、大気汚染常時監視測定局の測定結果が参考となる。

(2) 対策実施後

汚染土壤が現地に残る対策を講じた場合には、汚染土壤から汚染物質が地下水へ移動していないことを確認するためのモニタリングを実施する。

1) モニタリング対象

地下水を対象とし、地下水の採取場所は「(1)対策実施時」と同様とする。

2) モニタリング方法等

モニタリング項目、モニタリング頻度及びモニタリング方法等については、土壤汚染対策法調査措置ガイドラインを参考に、表 5-15 に示すとおりとする。

表 5-15 汚染土壤が現地に残る対策を講じた場合のモニタリング方法等

対象媒体	モニタリング内容		
地下水	測定対象	地下水の水質	
	対象物質	汚染土壤から検出した汚染物質	
	測定位置	地下水流向を参考に土壤汚染エリアの下流域の1地点以上 ^{注2}	
	測定頻度及び 測定期間	対策として、地下水の水質測定以外の対策を講じた場合	・4回/年以上 ・土壤調査終了後から地下水汚染が生じていない状態で2年間 ^{注3}
		対策として、地下水の水質測定による管理とした場合	・当初1年は4回/年以上、 2年～10年目は1回/年以上 11年目以降は1回/2年以上
	測定方法	公定法	
	管理基準	汚染土壤と判定した基準	

注1：土壤汚染対策法調査措置ガイドラインより作成

2：地下水の測定において掘削個所の近傍で適切な監視が可能な既存の井戸がある場合はその井戸で実施することが望ましい。

3：地下水の測定において2年間とは、汚染土壤が存在する地点を流下した地下水が測定地点に到達するまでの期間を考慮して適切に設定すること。