

第 5 章 モニタリング計画

5.1 基本事項

モニタリング調査は、本計画の対象期間において、以下の目的で実施するものとする。

- ① 海域における赤土等堆積状況の確認
- ② 環境保全目標達成に向けた陸域対策の実施状況の確認
- ③ モニタリング結果に応じた陸域における対策内容の検討
- ④ 沿岸域の生態系の改善状況の把握

本計画で設定された環境保全目標の令和 13 年度での達成のためには、陸域において様々な赤土等流出防止対策を推進していく必要がある。その対策の効果及び環境保全目標の達成状況を確認するため、「海域モニタリング」と「陸域モニタリング」を実施していく。

「海域モニタリング」では、陸域における対策の進展の結果、海域における赤土等堆積量が環境保全目標達成に向けて改善しているかを確認するために赤土等堆積状況調査を実施する。また、赤土等の堆積状況の改善により本計画の目的の一つである、沿岸域の生態系の改善が進んでいるか把握するために生物調査も実施する。

「陸域モニタリング」では、陸域における赤土等流出防止対策の実施状況及び土地利用状況、地域における赤土等の流出実態を調査し、陸域からの赤土等流出量を推計する。また、気候変動に伴う赤土等流出状況の変化を把握するため降雨状況や河川水中の濁度等のモニタリングを実施する。

「海域モニタリング」及び「陸域モニタリング」に際しては、情報の広域的な収集手法を取り入れ、「広域調査」を実施する。

「広域調査」では、人工衛星画像、ドローン画像等を活用し、県内の海域の赤土等堆積状況、陸域の土地利用状況や対策実施状況を広く把握する。これにより、現地調査の実施を予定していない海域の赤土等堆積状況や陸域の土地利用状況及び対策の実施状況等を把握することが可能となる。

モニタリング調査の目的を図 5-1 に、モニタリング項目及び実施頻度を表 5-1 に示した。

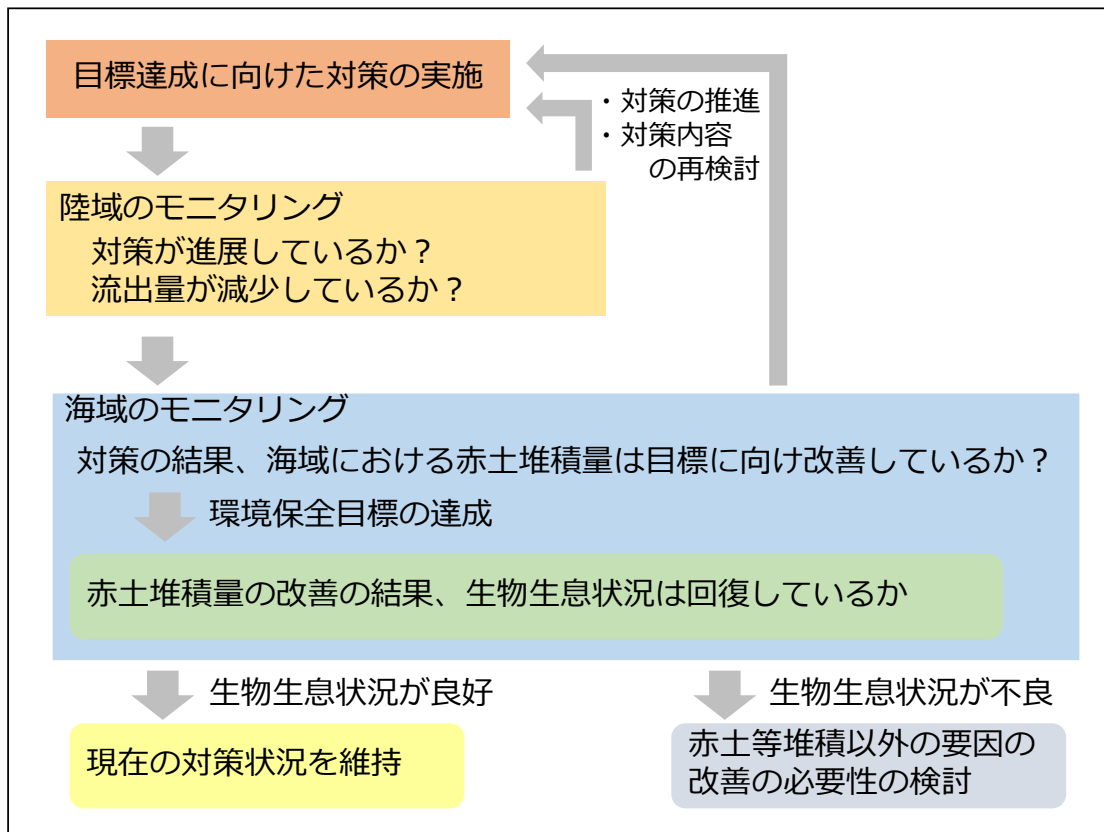


図 5-1 モニタリング調査の目的

表 5-1 モニタリング項目対応表

		調査項目	調査対象地域(海域・陸域)		
			重点監視	監視	一般
海域 モニタリング	現地調査	海域調査 ・赤土等堆積状況調査 ・生物調査	毎年度	定期評価	-
	広域調査	人工衛星画像等を用いた調査	毎年度		
陸域 モニタリング	現地調査	陸域踏査	(一部) 毎年度	(一部) 定期評価	-
		開発事業調査	毎年度及び定期評価		
		農地対策実施状況調査	毎年度	-	-
	広域調査	広域画像等を用いた調査	毎年度		
		気候変動影響調査	特定の期間	-	-

5.2 海域モニタリング

海域モニタリングは、陸域における対策の進展により、海域における赤土等堆積状況が環境保全目標達成に向けて改善しているか確認するため実施する。また、海域モニタリング調査では生物調査も実施し、海域の赤土等堆積状況の改善により、生物生息状況が回復または良好な状態を維持しているか、生物生息状況が赤土等堆積以外に影響を受けていないかを検証する。

5.2.1 現地調査

(1) 海域調査

重点監視地域(22 海域)においては、毎年、海域モニタリング調査を実施する。

監視地域(重点監視地域を含む 76 海域)においては、定期評価を実施するための海域モニタリング調査を実施する。

1) 地点の設定

海域内に調査地点を設定し、各地点で調査を実施する。調査地点は、河口付近に1点(堆積基準点)、礁池内の赤土等拡散経路上に位置するサンゴ場の岩盤帯に1点(代表評価地点)、その他、顕著な海草藻場・干潟・サンゴ場等に1点程度(評価地点)を設定する(図 5-2、表 5-2)。

また、優れた海中景観を形成するサンゴ群集として「沖縄のサンゴ礁(沖縄県自然保護課)」にて指定されたサンゴ群集が監視海域内に位置する場合は、当該群集内に「重要サンゴ群集地点」を設定し、モニタリング対象に含める(重点監視海域では4地点、監視海域では6地点の計 10 地点を設定)(図 5-2、表 5-2)。

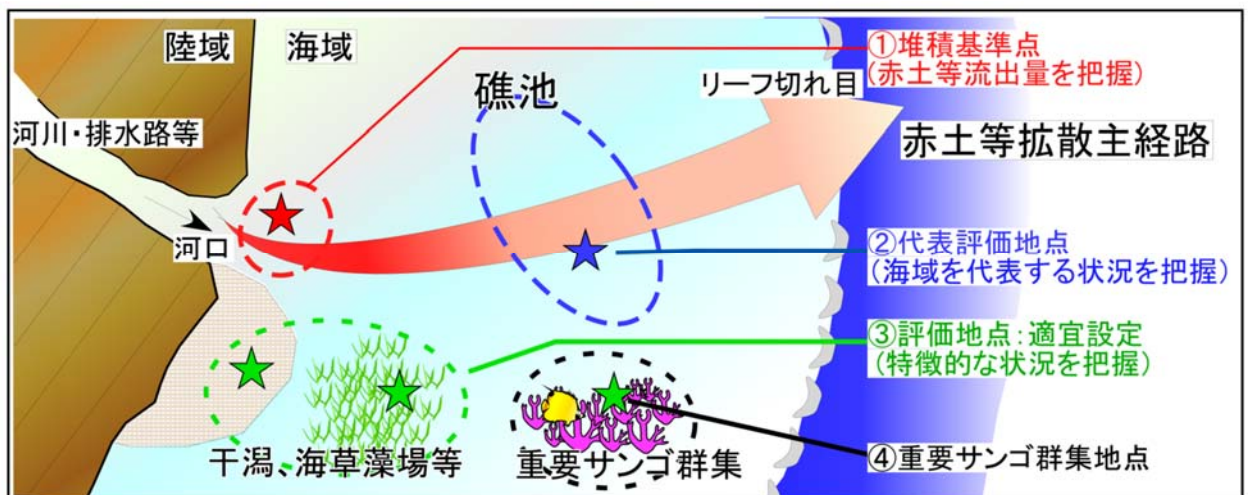


図 5-2 海域モニタリング調査地点イメージ

表 5-2 海域モニタリング調査地点設定

調査地点	設定位置	目的
①堆積基準点	河口近傍	赤土等流出量を把握
②代表評価地点	礁池内の赤土等拡散経路上に位置するサンゴ場の岩盤帯	海域を代表する状況を把握
③評価地点	その他サンゴ場、海草藻場、干潟等	海域内の特徴的な状況を把握
④重要サンゴ群集地点	優れた海中景観を形成するサンゴ群集	赤土等による影響を含めた群集の状態確認
	重要サンゴ群集地点 以下10地点 重点監視海域（ウフビシ、伊原間、白保アオサンゴ、マルゲー） 監視海域（水族館前、楚洲、大度、オーハ島北、ニシハマ、ヒジュイシ）	

2) 赤土等堆積状況調査

監視海域の赤土等堆積状況を把握するため SPSS を測定し、赤土等堆積以外の生物生息状況に影響を及ぼしうる海域の環境要因を把握するため濁度、塩分、全窒素、全リンを測定する。採泥及び水質測定用の採水は平常時における海域環境を把握することを目的としていることから海況が比較的穏やかな天候時に実施する。

調査項目は表 5-3 のとおりとし、調査は各地点（堆積基準点、代表評価地点、評価地点、重要サンゴ群集地点）において年3回（梅雨後[6月～7月の台風期前]、秋季[10月下旬～12月の台風期後]、冬季[1月下旬～2月冬季季節風時]）実施する。

表 5-3 赤土等堆積状況調査項目(海域モニタリング)

	調査項目	測定、試験方法
現場サンプリング項目	採泥(SPSS測定用)	地点周辺3点からの混合採泥
	採水(水質測定用)	海底から約50cmでの採水
現場観測項目	水深	ダイビングコンピュータによる測定
	水温	棒状水温計による測定
	水平透明度	沖縄県衛生環境研究所報第35号pp.103-109
室内分析項目	SPSS	沖縄県衛生環境研究所報第37号pp.99-104
	濁度	JIS K0101(1998)9.4 ※但し、標準はポリスチレン
	塩分	海洋観測指針 1999
	全窒素(T-N)	JIS K0170-3(2011)
	全リン(T-P)	JIS K0170-4(2011)

3) 生物調査

生物調査は、海域における赤土等の堆積状況の改善により生物の生息状況も回復しているか、またはその他環境要因に影響を受けていないかを把握するため監視海域の代表評価地点、評価地点、重要サンゴ群集地点において実施する。

調査対象は、サンゴ類、ベントス、海藻草類、魚類で、調査項目は表 5-4 に示すとおりとし、調査は年1回秋季(10月下旬～12月の台風期後)に実施する。

表 5-4 生物調査項目(海域モニタリング)

調査対象	サンゴ類 (注2)		ベントス (表在性、埋在性)	海藻草類 (注2)	魚類 (注2)	物理条件等
調査範囲	直径約20mの範囲	2m×2m永久コドラート (注1)	(表在)直径約20mの範囲、 (埋在)0.5m×0.5m×0.2m×4カ所	直径約20mの範囲	10m×2m×2カ所 ベルトトランセクト内	直径約20mの範囲
調査方法	スポットチェック法	コドラート法	スポットチェック法(表在性) コドラート法(埋在性)	スポットチェック法	ベルトトランセクト法	-
調査項目	造礁サンゴ全体被度	サンゴ分布図作成	出現種	藻場の種類	出現種	水深
	生育型	サンゴ類総被度	種別個体数(OR法)	分布面積及び被度 (海藻草類全体被度、海藻類被度、ガラモ類被度)	種別個体数(OR法)	底質の状況
	出現種	種類別被度	特異的な出現生物	出現種	写真撮影	水温(注2)
	種別被度	群体数	写真撮影	種別被度		特筆すべき環境要因
	オニヒトデ出現状況	ミドリイシ属の最大長径 (最大長径×短径)		写真撮影		特異的な現象
	その他食害生物出現状況	死サンゴ類の総被度				写真撮影
	サンゴ白化状況	サンゴ類の群体形				
	その他攪乱要因	オニヒトデ等による食害状況				
写真撮影	写真撮影					

注1: 「サンゴ類2m×2m永久コドラート」は「サンゴ場」である「代表評価地点」や「重要サンゴ群集地点」等特定の地点においてのみ実施する。

注2: 生息場環境が干潟もしくは干潟・河口地点では、サンゴ類、海藻草類、魚類および水温測定は、調査対象としない。

調査地点は、SPSS 等調査位置を中心に、直径約 20m の範囲でサンゴ類、ベントス、海藻草類調査を実施する。また、10m×2m×2カ所のベルトトランセクトを設置し、魚類調査を実施する。また、代表評価地点のサンゴ場、重要サンゴ群集地点においては、サンゴ類を対象とした別途2m×2m の永久コドラートを設定し、分布状況スケッチを基に経年変化を追う(図 5-3)。

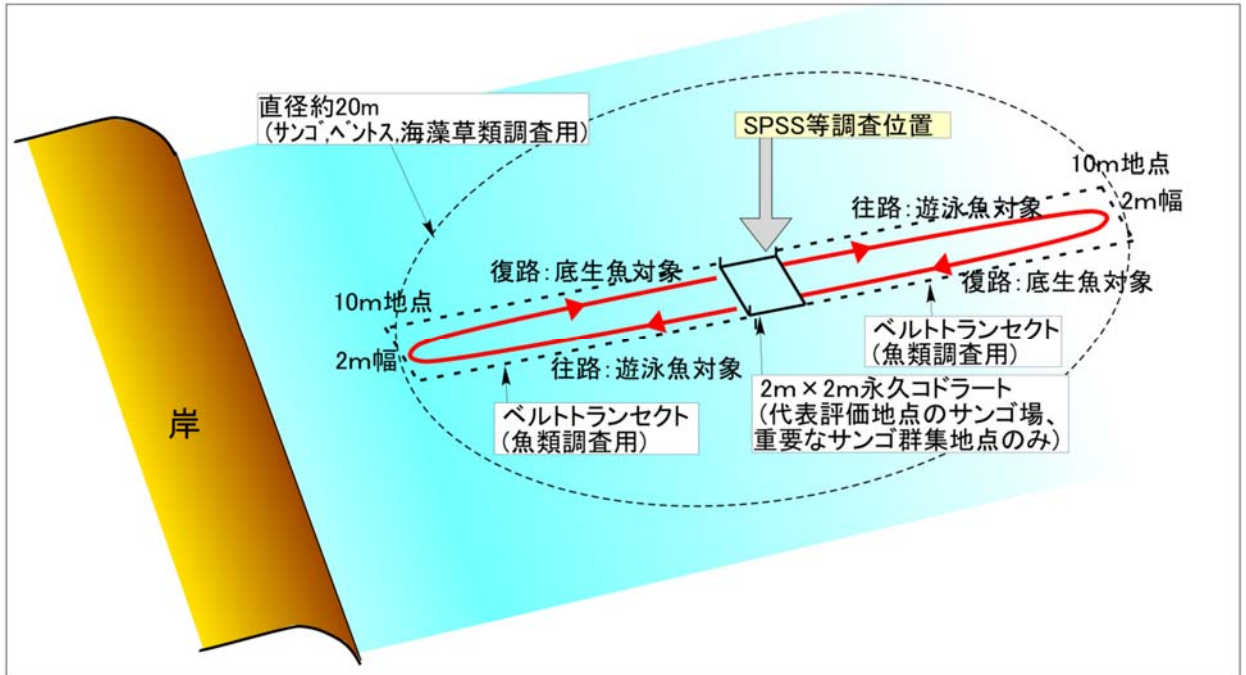


図 5-3 生物調査地点概念図(海域モニタリング)

4) 対照地点調査

重点監視海域とは別に対照地点を設定し、上記と同調査を実施する。対照地点は、赤土等汚染の実態及びおそれが極めて少ない清浄な海域から選定する(慶良間諸島周辺で2地点、宮古島周辺で2地点、八重山諸島周辺から4地点の計8地点程度)。

対照地点調査を実施することにより、生物生息状況等に異常が生じた際、その要因が赤土等汚染による現象か、それとも赤土等汚染以外の要因で起こった現象かどうかの判断に資することができる。

5.2.2 広域調査

人工衛星画像等を活用し、本計画の対象となる沿岸域の赤土等堆積状況を広域的に把握する。

調査は毎年度、赤土等堆積量調査時期に合わせて年3回程度(梅雨後[6月～7月の台風期前]、秋季[10月下旬～12月の台風期後]、冬季[1月下旬～3月の冬季季節風時])実施し、海底への赤土等堆積量を人工衛星画像等より解析・推定する。

これにより赤土等堆積の面的な広がりを把握できるほか、現地調査を実施しない海域においても毎年の赤土等堆積状況の把握が可能となる。

赤土等堆積量は、人工衛星画像等を用いて赤土堆積指標(RSI: Red-Silt deposition Index)(下段、参照)の算出値に基づいた堆積量分布図を作成し、SPSS に換算することで赤土等堆積量を推定する(図 5-4)。

広域調査の赤土等堆積量の推定にあたり、海域調査における SPSS の実測値との比較を行うことで、衛星画像による推定堆積量(RSI 値等)と海域調査による実測堆積量(SPSS 値)間での換算手法の検討や、画像補正に関する手法等で精度の向上を図る。

【参考】赤土堆積指標(RSI: Red-Silt deposition Index)

灘岡・田村(1992)^(注)が開発した指標。赤土等の堆積に伴い海底の色合いが分光反射特性として変化することに着目して、その変化の度合いを人工衛星の画像データから求め赤土等堆積量を推定する。

注:「LANDSAT/TM データに基づいた沖縄赤土流出問題の解析の試み(灘岡和夫・田村英寿)」(日本リモートセンシング学会誌、1992)

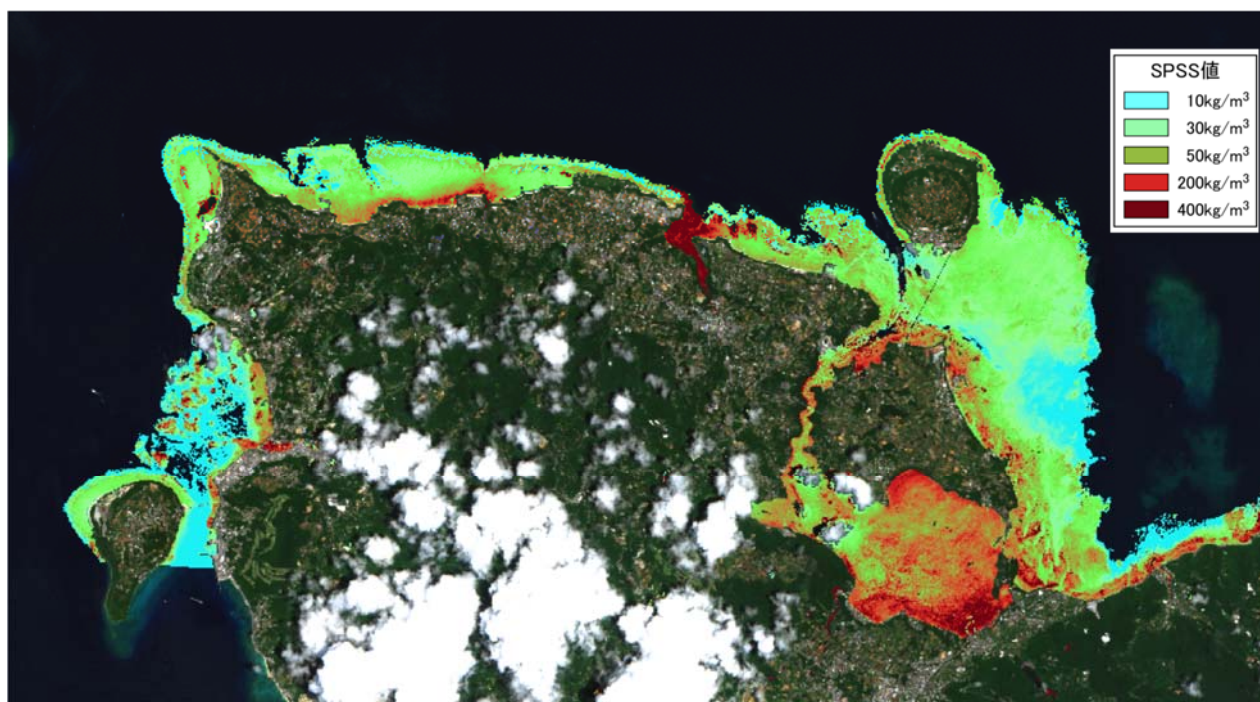


図 5-4 沿岸海域における SPSS 分布推定図例

5.3 陸域モニタリング

陸域モニタリングでは、各地域の赤土等流出状況及び対策実施による流出削減効果を把握するため、陸域における発生源対策の実施状況及び土地利用状況、地域における赤土等の流出実態を調査して、流出防止対策による効果として赤土等流出削減量を推計する。また、河川の濁度の観測や降雨状況を把握することで、気候変動等による赤土等流出量の変化をとらえる。

5.3.1 対策状況等の情報収集

対策実施による赤土等の流出防止効果や赤土等流出量の推移を把握するための情報収集を、統計データ、現地調査及び広域調査を活用して行う。

【収集する情報】

- ・農地：流出防止対策の実施状況、勾配抑制、沈砂池新設等に伴う受益面積の変化、農地の利用状況、作付け状況等
- ・開発事業：施行面積や期間、位置等
- ・米軍基地：裸地面積の変化、移転や縮小による基地面積の変化等

また、県以外の主体における流出防止対策の取組については、市町村、NPO 等団体を対象にヒアリング等を行い、取組等実施状況の把握を図る。

重点監視陸域では毎年度、監視陸域及び本島全域は本計画の中間年度の令和8年度と最終年度の令和13年度に各流出源（農地、開発事業、米軍基地、森林その他）からの年間流出量を推計する。

5.3.2 現地調査

各地域の赤土等流出量及び流出削減効果を把握するため、陸域からの赤土等流出量は土壌流亡予測式(USLE)を用いて赤土等の年間流出量を推計している。この推計精度を向上させるため、対策実施状況の把握及び各流出源や流域からの赤土等の流出状況を観測することにより、実測に基づいた流出量または流出削減効果を把握し、USLEの係数等の見直しを進める調査を実施する。(USLEによる推計については、p.91の囲み文を参照)

(1) 陸域及び河川現地調査

重点監視陸域を中心に、流域内における主な赤土等流出源及び赤土等流出防止対策の実施状況について、現地調査を実施する。また、降雨時もしくは降雨後に、流出源からの赤土等流出状況、河川・海域への流出実態等を把握するための調査を実施する。

海域における赤土等堆積状況が顕著である地域では、海域の赤土等堆積量と陸域からの赤土等流出量の関係性をより詳細に把握し、効果的な対策を実施していく必要がある。

重点監視地域の堆積基準点に影響を及ぼす河川の濁度を連続的に観測し、流域内

の流出量や対策実施による流出削減効果を実測することで、海域における赤土等堆積量と陸域における流出削減割合の相関をより詳細に検証し、陸域における対策効果をより定量的に把握する。

(2) 開発事業調査

開発事業において、沖縄県赤土等流出防止条例に基づき届出・通知された情報を蓄積し、開発事業の施工位置、施工面積や期間等を年度ごとに把握する。

また、開発事業現場における流出防止対策の実施状況調査を実施する。調査では、沖縄県赤土等流出防止条例に基づき届出・通知された事業現場を対象に流出防止対策状況及び流出防止対策効果を確認し、対策実施状況に基づき、流出量の推計に係る係数等の更新を行う(図 5-5)。

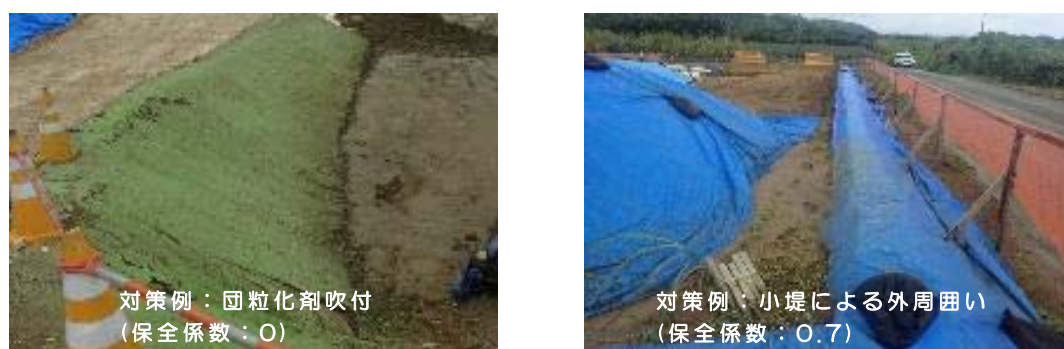


図 5-5 開発事業現場における対策と保全係数の例

(3) 農地対策実施状況調査

重点監視地域等を対象に、赤土等流出防止に関する事業で実施した農地における土木的対策及び営農的対策の実施状況を「赤土対策進捗管理システム」にて管理を行い、毎年度の対策実施による流出削減効果の算出等を行うことで、対策の進捗を把握する。

※本計画で新たに重点監視地域として選定された地域は、当該陸域の農地の基礎情報の収集後に流出削減効果を推計する。

【参考】「赤土等流出対策進捗管理システム」

沖縄県農林水産部にて運用している GIS(地理情報)システムであり、重点監視地域を中心に農地の筆ごとの赤土等流出防止対策等に関する情報を集約している。水質保全対策事業による土木的対策、営農的対策の実施情報について、システム上に反映させており、その効果について流出量の変動として把握を行っている。

5.3.3 広域調査

農地からの流出実態を踏まえた赤土等流出量推計のためには、農地の地形特性や作付け作物、流出防止対策の実施状況など個々の農地における情報の集積が求められる。

ドローン撮影画像、人工衛星画像等を活用し、県全域の農地等の地形特性や利用状況や作付け作物、対策の実施状況等を広域的に調査し USLE で年間流出量を推計するために必要な係数の情報を収集する。そこで得られた農地の状況を現地調査等で得られた対策実施実績等で補正することで、各地域のより詳細な赤土等流出量及び対策実施状況を把握する(図 5-6)。

また、農地以外の地目についても、必要に応じて人工衛星画像等を用いた土地の利用状況や裸地の発生状況等の推移を把握する。

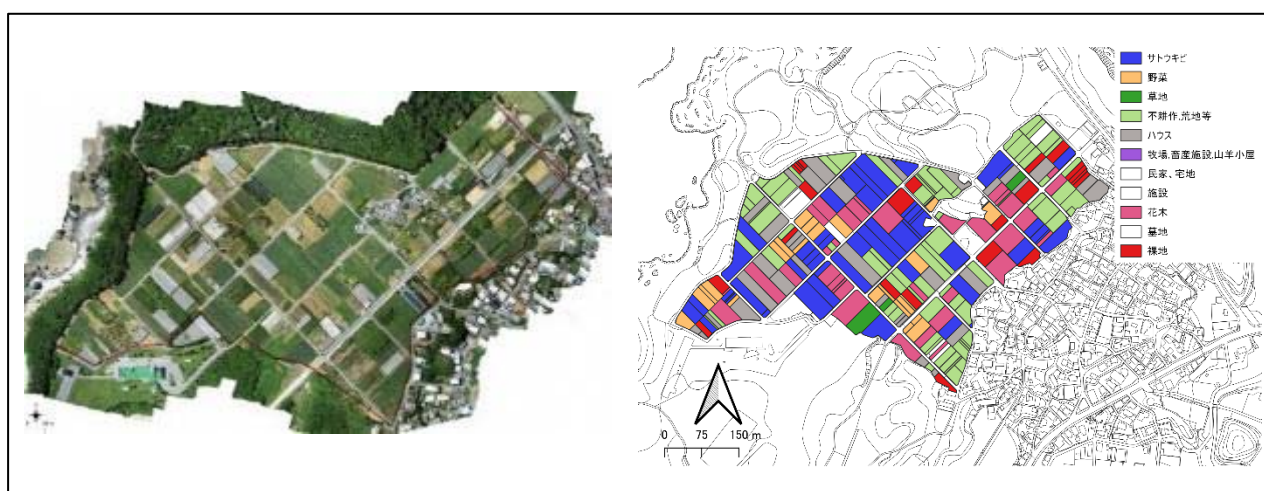


図 5-6 ドローン撮影画像を用いた土地利用状況判別例

5.3.4 気候変動の影響調査

本県においても、将来的な気候変動による降雨状況の変化が予測されており、降雨強度の高い降雨の増加により、河川を通じて海域への赤土等流出量の増加が懸念されている。河川において赤土等流出状況の連続的な観測を行い、降雨状況や陸域における土地利用状況も考慮し、気候変動による赤土等の流出状況の変化を把握する。

5.3.5 陸域調査結果等を用いた年間流出量の推計

前述した現地調査、広域調査等の結果を用い、赤土等流出量を推計し、対策の進捗状況を把握する。

各地域の陸域における推定年間流出量は、まず陸域を流出源ごとに「農地」、「米軍基地」、「開発事業」、「森林・道路・その他」に区分した上で、それぞれの流出量を推計し、それらを合計することで求められる(図 5-7)。



図 5-7 流出量推計イメージ

以下では、「農地」、「米軍基地」、「開発事業」、「森林・道路・その他」それぞれにおける流出量の推計方法を示した。なお、各流出源からの流出量の推計方法については旧基本計画の推計方法を基にしているが、各流出源及び地域における流出の実態を詳細に把握できるよう、必要に応じ推計方法の見直しを行うこととする。

(1) 農地

農地からの流出量を USLE により推計する。陸域ごとの流出量は、その合計値により算出する。

USLE における各種係数は、統計データ、対策実績、「現地調査」や「広域調査」等によって得た値を基に設定する。

【参考】USLE

USLE は年間の土壌流出量を予測する式であり、農地や開発現場からの年間の赤土等流出量を推計するために用いられている。

$$\text{USLE: } A=R \cdot K \cdot L \cdot C \cdot P$$

年間土壌流出量 A (t/ha/年)は、 R (降雨係数)、 K (土壌係数)、 L (斜面長係数)、 C (作物係数)、 P (保全係数)の積で表現される。農地一筆ごとの年間流出量は各農地の面積と年間土壌流出量を掛け合わせることで算出され、地域の農地全体の総年間土壌流出量はその和をとることにより推計される。

(2) 米軍基地

米軍基地からの流出量は、基地内の裸地以外の部分と裸地の部分を分けて算出する。裸地面積は、「広域調査」における人工衛星の画像を用いて推計する。

それぞれの算出式を以下に示す。

【裸地以外の算定式】^{※1}

$$\text{年間流出量(t/年)} = \text{裸地以外の地域の面積(ha)} \times 0.15 \text{ (t/年} \cdot \text{ha)}$$

【裸地の算定式】^{※1,2}

$$\text{年間流出量(t/年)} = \text{裸地面積(ha)} \times 10^4 \times \text{年降水量平均値(mm)} \times 10^{-3}$$

(2,059)

$$\times \text{流出率} \times \text{予測 SS 濃度(mg/L)} \times 10^{-6} \times \text{保全係数}$$

(0.7)

(40,000)

(0.6)

※1:『沖縄県衛生環境研究所、29、83-88、沖縄県における年間土砂流出量について(1995)』

(3) 開発事業

陸域内の沖縄県赤土等流出防止条例に基づき事業行為届出書または通知書が提出された開発事業をすべて抽出し、抽出した事業からの流出量を集計する(図 5-8)。

開発事業は、事業内容により「面的工事」、「線的工事」、「河川工事」、「その他」の4種類に分類した上で、事業ごとの流出量は、USLE をベースとした下記の式によって算定する。

$$\text{開発事業の流出量(t/年)} = \frac{\text{降雨係数 R} \times \text{土壌係数 K} \times \text{地形係数 LS} \times \text{保全係数 P} \times \text{事業日数} / 365}{\times \text{事業面積(ha)}}$$

なお、各種係数は、「開発事業調査」等によって得た値を基に設定する。

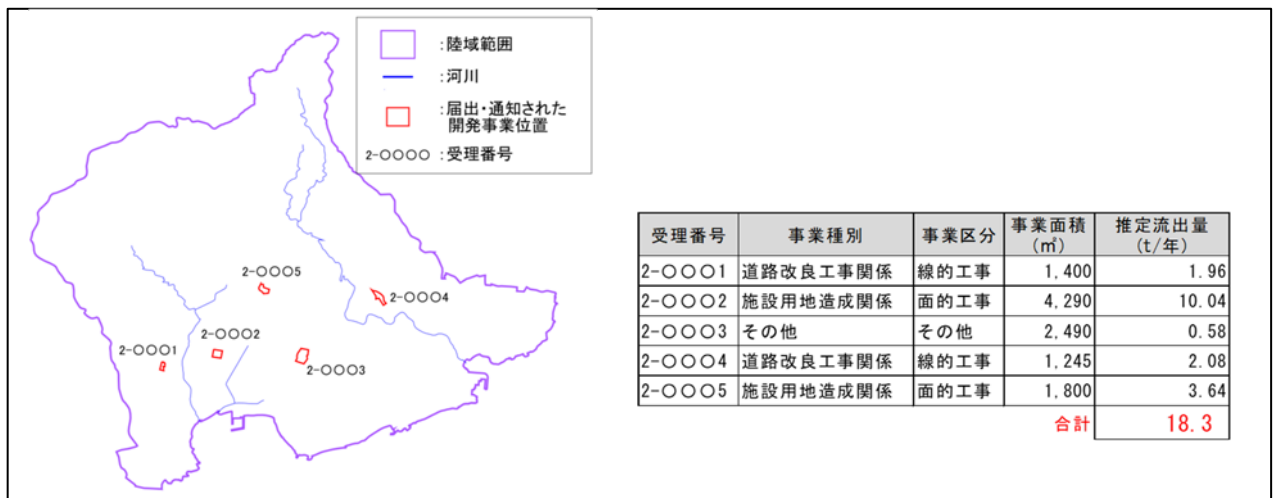


図 5-8 陸域内の開発事業と流出量の算出例

(4) 森林・道路・その他

「森林・草地」と「宅地・道路・その他」に区分し、以下の算出式に基づいて流出量を集計する。

【森林・草地の算定式】

$$\text{年間流出量(t/年)} = \text{SS 平均値(mg/L)}^{*1} \times \text{面積(ha)}^{*2} \times \text{年降水量平均値(mm)}^{*3} \times \text{流出率}^{*1}$$

【宅地・道路・その他の算定式】

$$\text{年間流出量(t/年)} = \text{降雨係数}^{*4} \times \text{土壌係数}^{*1} \times \text{斜面長係数}^{*1} \times \text{保全係数}^{*1} \times \text{作物係数}^{*1} \times \text{面積(ha)}$$

※1：『沖縄県衛生環境研究所報、29、83-88、沖縄県における年間土砂流出量について(1995)』

※2：森林面積は、米軍基地内を除く森林面積、草地面積は、放牧地及び原野面積

※3：県内における平成3年～平成12年の年降水量平均(2,125)

※4：各圏域の降雨係数の単純平均値(836)