

6.2 人工衛星画像を用いた調査

6.2.1 沿岸海域を対象とした人工衛星画像調査

(1) 調査項目

調査項目を表 6.2.1-1 に示した。

表 6.2.1-1 調査項目（人工衛星画像を用いた調査）

調査項目	数量	適用
人工衛星画像を活用した SPSS推定モデルの構築	1式	・ 教師データの収集(人口衛星画像、現地調査結果) ・ SPSS推定モデルの構築
人工衛星画像への SPSS推定モデルの適用	1式	・ 今年度(R6年度)、梅雨後、秋季、冬季の沿岸域画像取得 ・ 今年度沿岸域画像への推定モデルの適用
・ 公開用資料案の検討	1式	・ 公開用資料例の作成

(2) 調査緒言

1) 解析環境

解析に用いたコンピュータ、プログラミング言語、ソフトウェア等について以下に示した。

一度に多量のデータを扱うことを前提に、処理能力の高い端末を使用した。

解析に当たっては、Python の数値処理関連パッケージや GIS 関連パッケージを用いて解析を行った。また、合わせてフリーの GIS ソフトである QGIS を使用した。

なお、これら環境は、本解析を行うにあたっての一例であり、必要となる環境を示したものではない。

使用コンピューター
ワークステーション
CPU Intel Xeon W-2255//3.7GHz
メモリ 256GB
GPU Geforce3090
OS Linux (Ubuntu22. 04. 2LTS)
使用プログラミング言語および主な使用パッケージ
Python3. 8. 16
数値処理関連パッケージ(numpy,pandas,scikit-learn等)
GIS関連パッケージ (rasterio,geopandas,gdal等)
GISソフトウェア
QGIS3. 22. 4-Bialowieza

2) 人工衛星「Sentinel-2」について

本解析においては、人工衛星「Sentinel-2」によって撮影された画像を活用した。なお「Sentinel-2」の画像は、web にて無償で公開されている。

(a) Sentinel-2 概要

Sentinel-2 は、欧州宇宙機関(ESA)の地球観測プログラム「Copernicus」の一環として開発された光学衛星であり、Sentinel-2A は 2015 年 6 月 23 日に、Sentinel-2B は 2017 年 3 月 7 日に打ち上げられ、両衛星の運用により地球全体を約 5 日ごとに観測可能である。

Sentinel-2 は、多目的のマルチスペクトル計測装置(MSI: Multispectral Instrument)を搭載し、可視光(Blue, Green, Red)、近赤外(NIR)、および短波赤外(SWIR)を含む 13 のスペクトルバンドで観測を行っている。なお、空間分解能はバンドによって異なり、10m(Blue, Green, Red, NIR)、20m(Red Edge, SWIR など)、60m(大気補正用バンド)となっている。観測幅(スワ幅)は 290km と広範囲のデータ取得が可能である(表 6.2.1-2)。

表 6.2.1-2 Sentinel-2 概要

打ち上げ	Sentinel-2A(2015年6月23日)、Sentinel-2B(2017年3月7日)	
センサ名	MSI(MultiSpectral Instrument)	
軌道高度	786km (太陽同期極軌道)	
波長・分解能など	マルチスペクトルの波長 中心波長(バンド幅)	分解能
	band2 青緑 490nm(65nm) band3 緑 560nm(35nm) band4 橙 665nm(30nm) band8 近赤外 842nm(115nm)	10m
	band5 赤 705nm(15nm) band6 近赤外 740nm(15nm) band7 近赤外 783nm(20nm) band8a 近赤外 865nm(20nm) band11 中間赤外 1610nm(90nm) band12 中間赤外 2190nm(180nm)	20m
	band1 濃紺 443nm(20nm) band9 近赤外 945nm(20nm) band10 中間赤外 1375nm(30nm)	60m
観測幅	290km	
センサ1画素あたりの 情報量	12bits	

(b) Sentinel-2 提供画像

Sentinel-2 のデータは、L1C (Level-1C) および L2A (Level-2A) のレベルで提供されている。L1C は、放射補正が施されたデータであり、地球基準座標系(UTM/WGS84)に投影され、大気上端反射率として出力される。これは、大気補正を行う前のデータであり、リモートセンシング解析の前処理に利用される。

L2A は、大気補正が施されたデータであり、地表反射率(BOA: Bottom of Atmosphere Reflectance)として提供される。L2A は L1C を基に、影や大気散乱の影響を補正し、解析に適したデータを提供する。

本解析では、大気補正済みの L2A 画像を使用する。

(c) 画像提供区画

沖縄県周辺における Sentinel-2 画像のエリア区画を図 6.2-1 に示した。画像は区画別に提供されており、「T52RBQ」等の名称がつけられている。

本解析では、沖縄本島、久米島等を含む「本島エリア」、宮古島、石垣島、西表島等を含む「先島エリア」と大きく二分し、本島エリアでは4区画、先島エリアでは5区画より構成する。

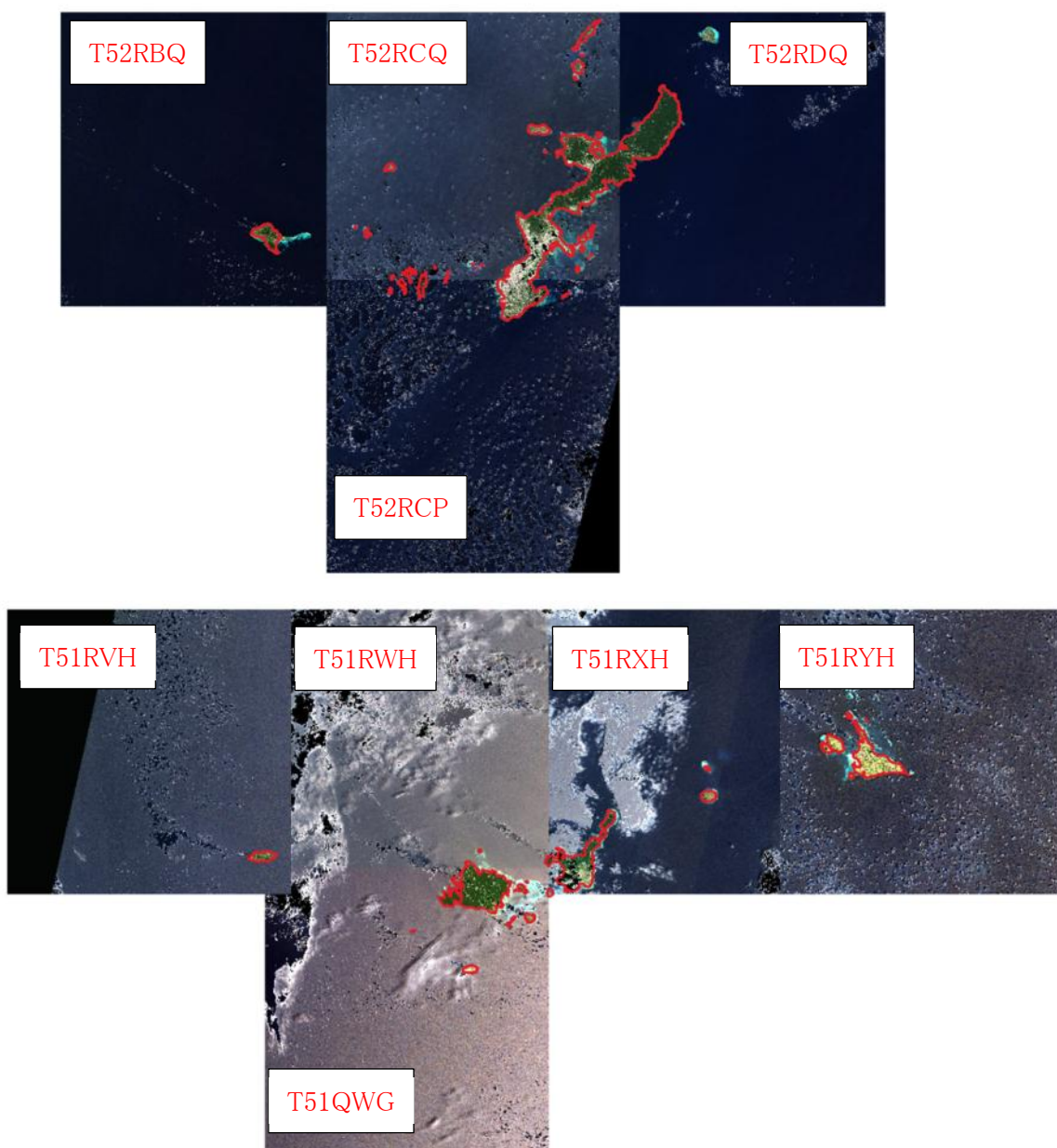


図 6.2-1 沖縄周辺における Sentinel-2 区画エリア(上図:本島エリア、下図:先島エリア)

(3) 解析手法概要

沿岸域における赤土等堆積量解析は、以下のフローで実施した。

解析の流れとしては、大きく二段階に分けられ、まず「人工衛星画像を活用した SPSS 推定モデルの構築」を行い、その後「人工衛星画像への SPSS 推定モデルの適用」を行った。

表 6.2.1-3 沿岸域：赤土等堆積量解析フロー

沿岸海域を対象とした人工衛星画像調査	
1.人工衛星画像を活用したSPSS推定モデルの構築	備考(注)
教師データの収集	(4) 1)(a)
応答変数の収集(SPSS)	(4) 1)(a) a)
説明変数の収集1(衛星画像バンド値)	(4) 1)(a) b)
説明変数の収集2(水深情報)	(4) 1)(a) c)
説明変数の収集3(その他情報)	(4) 1)(a) d)
ランダムフォレスト法によるSPSS推定モデルの構築	(4) 1)(b)
2.人工衛星画像へのSPSS推定モデルの適用	備考(注)
令和6年度沿岸域人工衛星画像の準備	(4) 2)(a)
水深情報の準備	(4) 2)(b)
令和6年度沿岸域人工衛星画像へのSPSS推定モデルの適用	(4) 2)(c)

注：備考欄に示した番号は、各手法の詳細を記載した「(4)解析手法詳細」内のセクション番号である。

(4) 解析手法詳細

1) 人工衛星画像を活用した SPSS 推定モデルの構築

(a) 教師データの収集

モデルを構築するためには、その素材となる教師データが必要となる。教師データは、モデルによって推定する対象(応答変数)と、推定の材料となる説明変数が対応したペア(データセット)から構成する。

本モデルでは、応答変数は実測 SPSS 値、説明変数が衛星画像によって得られる情報等となる。

a) 応答変数(SPSS)の収集

本事業「赤土等流出防止対策検証事業委託業務」(過年度においては「赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務」)においては、経年的に海域 SPSS 調査が実施されており、これら過年度 SPSS 調査結果を教師データ(応答変数)として収集した。

収集した過年度業務の一覧を表 6.2.1-4 に示した。SPSS 調査は毎年度実施しているが、平成28年度、令和2年度、令和3年度では特に調査地点数を増やし、全県的に SPSS 調査を実施したことから、収集対象とした。加えて、令和6年度本業務、および令和5年度業務を収集対象とした。

表 6.2.1-4 教師データ(応答変数:SPSS)の収集対象

過年度業務	海域SPSS調査内容
平成28年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務	346地点×3回(梅雨後、秋季、冬季)、13地点×1回(秋季)
令和2年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務	105地点×3回、15地点×1回
令和2年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務(その2)	255地点×1回(冬季)
令和3年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務	372地点×2回(梅雨後、秋季)
令和5年度赤土等流出防止対策検証事業委託業務	104地点×3回(梅雨後、秋季、冬季)、11地点×1回(秋季)
令和6年度赤土等流出防止対策検証事業委託業務(本業務)	104地点×3回(梅雨後、秋季、冬季)、11地点×1回(秋季)

b) 説明変数(衛星画像からのバンド値)の収集

① 人工衛星画像の選定

前述した応答変数(SPSS)とペアとなる人工衛星画像を収集した。過年度業務での各 SPSS と対応する画像が必要となるため、SPSS 調査時期を各年度、各調査回ごとに特定し、それと近い時期であり、かつ雲量の少ない衛星画像を選定した。

各 SPSS 調査の実施時期と取得衛星画像撮影日の対応表を、表 6.2.1-5 に示した。

表 6.2.1-5 各 SPSS 調査の実施日と取得衛星画像撮影日の対応表

H 2 8 年 度	現地調査実施日					取得人工衛星画像の撮影日					
		島 嶼 名	第1回海域 調査	第2回海域 調査	第3回海域 調査		区 画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
	本 島 エ リ ア	久米島	7/4-7/5	11/10-11/12	2/4-2/6	本 島 エ リ ア	T52RBQ	久米島	8/23	10/22	3/1
		沖縄本島	6/22-7/7	10/28-11/22	1/21-2/10		T52RDQ	本島北部	7/1	11/18	3/28
	T52RCQ						本島中部	7/1	11/18	3/28	
T52RCP	本島南部						7/1	11/18	3/28		
先 島 エ リ ア	西表島	7/4-7/5	11/8-11/21	1/30-2/2	先 島 エ リ ア	T51RWH	西表島北	7/17	10/25	3/24	
	石垣島	6/22-6/27	10/25-10/31	1/31-2/5		T51RXH	石垣島	6/27	11/14	3/24	
	宮古島	6/30-7-1	11/17-11/19	1/23-1/25		T51RYH	宮古島	6/24	12/11	3/1	

R 2 年 度	現地調査実施日					取得人工衛星画像の撮影日					
		島 嶼 名	第1回海域 調査	第2回海域 調査	第3回海域 調査		区 画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
	本 島 エ リ ア	久米島	-	-	1/26-1/27	本 島 エ リ ア	T52RBQ	久米島	-	-	3/15
		沖縄本島	-	-	1/24-3/15		T52RDQ	本島北部	-	-	3/15
	T52RCQ						本島中部	-	-	3/17	
T52RCP	本島南部						-	-	3/17		
先 島 エ リ ア	西表島	-	-	1/26-1/28	先 島 エ リ ア	T51RWH	西表島北	-	-	2/6	
	石垣島	-	-	1/20-1/25		T51RXH	石垣島	-	-	2/16	
	宮古島	-	-	2/14-2/15		T51RYH	宮古島	-	-	3/15	

R 3 年 度	現地調査実施日					取得人工衛星画像の撮影日					
		島 嶼 名	第1回海域 調査	第2回海域 調査	第3回海域 調査		区 画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
	本 島 エ リ ア	久米島	7/4-7/6	11/3-11/5	-	本 島 エ リ ア	T52RBQ	久米島	7/8	12/15	-
		沖縄本島	7/3-7/18	10/21-12/2	-		T52RDQ	本島北部	7/5	12/15	-
					-		T52RCQ	本島中部	7/15	12/15	-
-					T52RCP		本島南部	7/5	12/10	-	
先 島 エ リ ア	西表島	7/12-7/15	10/28-10/31	-	先 島 エ リ ア	T51RWH	西表島北	7/1	10/4	-	
	石垣島	7/5-7/16	10/21-10/27	-		T51RXH	石垣島	7/11	10/29	-	
	宮古島	7/8-7/10	11/9-11/12	-		T51RYH	宮古島	7/8	12/5	-	

R 5 年 度	現地調査実施日					取得人工衛星画像の撮影日					
		島 嶼 名	第1回海域 調査	第2回海域 調査	第3回海域 調査		区 画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
	本 島 エ リ ア	久米島	7/11-7/12	11/16-11/17	1/31-2/1	本 島 エ リ ア	T52RBQ	久米島	7/3	11/5	2/3
		沖縄本島	7/3-7/14	10/30-12/8	1/22-2/1		T52RDQ	本島北部	7/30	10/18	2/15
	T52RCQ						本島中部	7/30	12/15	2/13	
T52RCP	本島南部						7/10	11/20	2/13		
先 島 エ リ ア	西表島	6/27	11/10	1/27	先 島 エ リ ア	T51RWH	西表島北	6/26	11/28	1/17	
	石垣島	6/26-6/30	11/6-11/9	1/25-1/29		T51RXH	石垣島	6/26	11/28	2/21	
	宮古島	7/3	10/23-10/24	2/2		T51RYH	宮古島	7/23	11/5	2/18	

R 6 年 度	現地調査実施日					取得人工衛星画像の撮影日					
		島 嶼 名	第1回海域 調査	第2回海域 調査	第3回海域 調査		区 画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
	本 島 エ リ ア	久米島	7/4	11/11-11/12	1/22	本 島 エ リ ア	T52RBQ	久米島	7/7	11/4	1/18
		沖縄本島	6/24-7/3	10/22-11/15	1/20-2-6		T52RDQ	本島北部	8/3	10/7	1/18
	T52RCQ						本島中部	6/24	10/22	1/18	
T52RCP	本島南部						7/7	10/7	3/1		
先 島 エ リ ア	西表島	7/3	12/6-12/11	2/10	先 島 エ リ ア	T51RWH	西表島北	7/20	12/2	2/25	
	石垣島	6/30-7/4	12/6-12/17	2/10-2/14		T51RXH	石垣島	7/10	12/2	3/2	
	宮古島	6/27	11/8-11/9	1/23		T51RYH	宮古島	7/22	12/4	1/18	

② 大気補正

Sentinel-2 画像は、L1、L2 プロダクトが提供されており、本解析には大気補正が既に実施されている L2A プロダクトのみを使用した。ただし、大気の影響は L2A プロダクトにも残存していることから、L2A プロダクトに更なる補正を行った。行った補正は、Dark Object Subtraction (以下 DOS 補正という))と呼ばれるものである。

DOS 補正とは、衛星画像による各バンド値を、当該バンド値と画像全領域で最も暗い場所における当該バンド値との差分値に置き換える補正手法である。これは画像領域内最も暗い場所では大気散乱に由来する輝度のみが残存しているという仮定に基づく補正手法である。本解析では、画像内全ピクセルでの各バンド最小値を用いて、補正に使用した。

DOS 補正については、Python パッケージ rasterio を用いて行った。

③ 水面反射補正

DOS 補正画像に対し、さらに水面反射補正を実施した。水面反射補正手法は、Hedley et al. (2005)を適用し、近赤外 (NIR) バンドの輝度値を基に、可視光バンドのサン・グリント成分を線形回帰により推定・補正した。本手法は、水面反射が顕著に影響を及ぼす沿岸海域のリモートセンシングにおいて有効とされている。

水面反射補正については、Python パッケージ rasterio を用いて行った。

【参考資料】

・Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos J.D.Hedley et al.2005 International Journal of Remote Sensing vol29 No10

c) 説明変数(水深情報)の収集

前述した応答変数(SPSS)とペアとなる水深情報を収集した。過年度業務では、SPSS 調査実施の際、合わせて採泥地点の水深を測定していることから、その値を活用した。なお各地点複数回採泥及び水深測定を行っていることから、その平均値を採用した。

d) 説明変数(その他情報)の収集

その他説明変数として、RSI1 と RSI2、および各画像識別 id を説明変数に追加した。

① RSI1、RSI2

「RSI」は、灘岡和夫・田村英寿(1992)により開発された、沿岸域における赤土等堆積量を表す指数であり、値が大きい程赤土等堆積量が多いことを示すとされている。

「RSI2」は、灘岡(1997)で赤土等堆積量を反映する可能性について言及された指標であり、今回試験的に導入を試みた。

各指数の算出式を以下に示した。

RSI(赤土堆積指標)、RSI2の算出式

$$RSI = \frac{Green - Green_{\infty}}{Blue - Blue_{\infty}} \quad RSI2 = \frac{Red - Red_{\infty}}{Blue - Blue_{\infty}}$$

注: Red: 赤色光バンド値、Blue: 青色光バンド値、Green: 緑色光バンド値、 ∞ : 各バンドの最暗帯での値

これらバンド値演算については、Python の rasterio パッケージ等を用いて行った。

【参考資料】

- ・LANDSAT/TM データに基づいた沖縄赤土流出問題の解析の試み(1992)灘岡和夫・田村英寿
- ・海底分光反射特性解析に基づくサンゴ礁海域衛星モニタリングの一般化の試み(1997)灘岡和夫、他

② 画像識別情報

画像識別情報を説明変数として与えた。なおここでは、ターゲットエンコーディング法を用いた。

ターゲットエンコーディング法とは、カテゴリ変数を数値変数に変換する手法の一つであり、応答変数(ターゲット)の統計値を利用してエンコードする方法である。ここでは、各画像内の実測 SPSS の平均値を算出し、これを各画像別の固定値として説明変数とした。

(b) ランダムフォレスト法による SPSS 推定モデルの構築

推定モデルの構築に、ランダムフォレスト法を採用した。

ランダムフォレスト法の概要を以下に示した。

【ランダムフォレスト法】

ランダムフォレストは、木(決定木)を集めて森(フォレスト)にしたものという意味合いのモデルであり、決定木のアンサンブルモデル(複数の推定モデルを組み合わせる手法)の一つである。

決定木とは、推定に役立つ情報が最も効率的に得られるように、特徴量とその境界値を繰り返し定めることによって木の構造をした選択肢群を作成し、木の末端のそれぞれに推定値をあてはめる手法である。

ランダムフォレストで使用する決定木は、学習データの中からランダムに選んだ特徴量の集合をもとに作る小さな決定木である。決定木を多数、並列に作り、集めた決定木の推定値の平均や多数決で決めた値をモデル全体の推定値とすることにより、精度を上げることが可能となっている。

【参考資料】

入門 R による予測モデリング 機械学習を用いたリスク管理のために 岩沢宏和・平松雄司 東京図書

その他特筆すべき特徴としては以下が挙げられる。

- ・回帰問題および分類問題の両方に適応可能である。
- ・説明変数は、カテゴリ値、連続変数ともに複数取り込むことができる。
- ・アンサンブル学習により高い推定精度が期待できる。
- ・人工衛星画像解析での活用事例が複数ある。

ランダムフォレストによる推定モデル構築は Python パッケージ scikit-learn を用いて実施した。

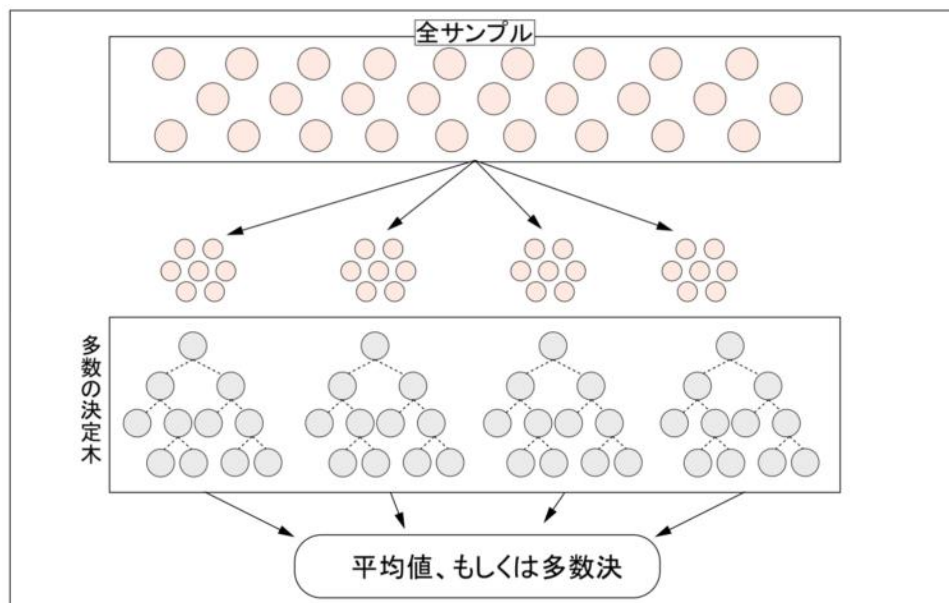


図 6.2-2 ランダムフォレスト法の概念図

2) 人工衛星画像への SPSS 推定モデルの適用

(a) 令和6年度沿岸域人工衛星画像の準備

① 人工衛星画像の選定

構築した推定モデルを用いて、赤土等堆積状況を推定するのは、令和6年度 3 季(梅雨後、秋季、冬季)の赤土等堆積状況である。各季における人工衛星画像の内、雲量の少ない画像を選定し、SPSS 推定モデル適用用の人工衛星画像とした。

各季の衛星画像は、以下の期間から選定した。

- ・梅雨後:令和 6 年 6 月～7 月
- ・秋季:令和 6 年 10 月～12 月中旬
- ・冬季:令和 7 年 1 月～2 月

② 陸域、海域高深度域の除去

推定モデル適用範囲の沿岸海域以外の範囲(陸域、海域高深度域)をマスク処理(除外)した。

処理に際しては、残すエリア(沿岸域)のポリゴンファイルを準備し、Python の geopandas および rasterio パッケージにて衛星画像を切り抜いた。

沿岸域のポリゴンは、「平成 23 年度赤土等に係る環境保全目標設定調査 沖縄県」内「第 4 章 4.1.1(1)海域区分の設定」において設定された、海域区分図用のポリゴンを統合したものを使用した。なお、本海域区分は、「旧基本計画」、「第 2 次基本計画」ともに、監視海域の区域として採用されたものである。

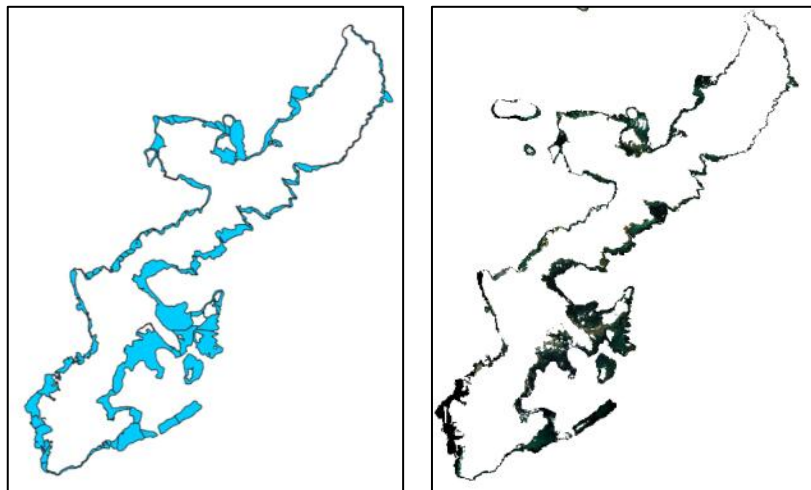


図 6.2-3 左:海域区分用ポリゴン、右:ポリゴンにて解析対象外エリアを除去(沖縄本島地域抜粋)

③ 雲域の除去

雲域については推定モデルの適用ができないことから、雲域範囲をマスク処理(除外)した。

Sentinel-2L2A 画像においては、各バンド値とともに SCL (Scene Classification Layer) 情報が付与されている。SCL (Scene Classification Layer) は、分類マスクであり、雲、水域、植生、人工物などの地表の状態を判別する。各ピクセルに 0~11 のラベルが割り当てられ、解析時のマスキングやデータフィルタリングに活用される。ここではカテゴリ 8(中確率で雲域)、9(高確率で雲域)、10(薄い巻雲域)の範囲をマスク対象とした。

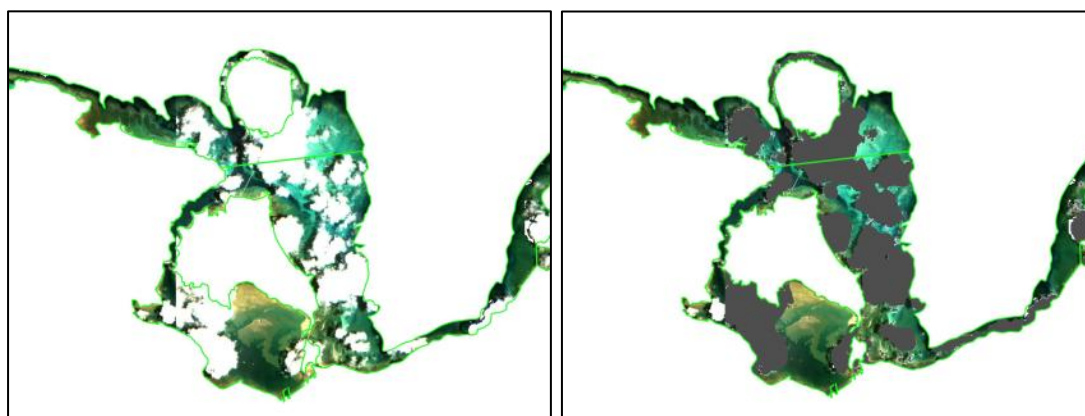


図 6.2-4 左:沿岸域衛星画像、右:雲域にマスク用ポリゴン(グレーポリゴン)配置例

(b) 水深情報の準備

前述した SPSS 推定モデルにおいては説明変数に水深情報が含まれていることから、モデルを適用する対象に対しても水深情報が必要となる。

人工衛星画像(Sentinel-2)には水深情報が含まれていないことから、水深情報は別途、海上保安庁 M7000 シリーズを使用した。

M7000 シリーズは、海岸線、等深線、低潮線などの情報を含み、沿岸域での等深線は 1m ピッチで提供されている。また、GIS ソフト等での活用が容易なシェープファイル形式で有償提供されている。なお、低潮線(干潮時における海面と陸地との境界線)を 0m としているため、サンゴ礁海域の礁池等では、一律 0mとなっている場所も存在する。

M7000 シリーズの等深線シェープファイルを元に深度ラスタ(画像)を作成し、Sentinel-2 画像と重ね合わせることで、Sentinel2 の各ピクセルごとに、水深値を与えた(図 6.2-5)。

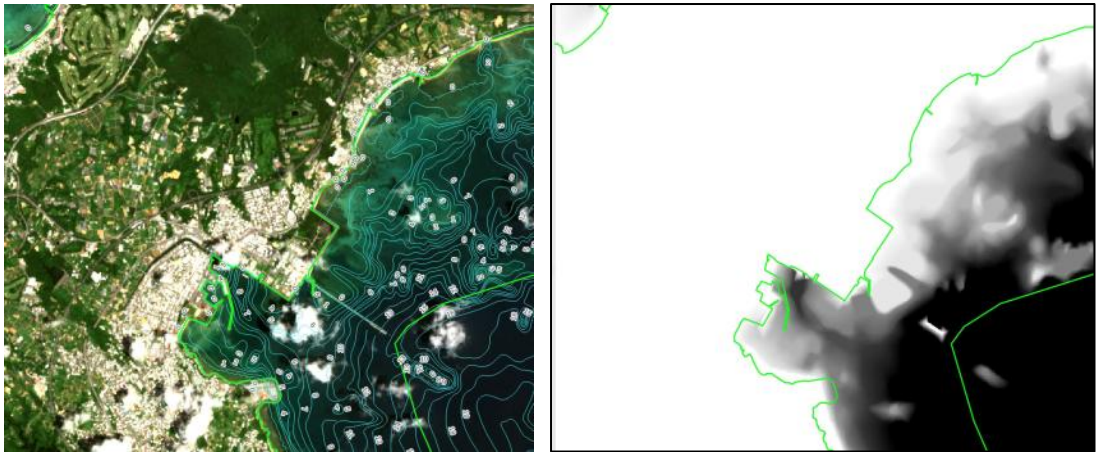


図 6.2-5 左:M7000 による等深線図、右:作成した深度ラスタ(画像)

(c) 令和 6 年度沿岸域人工衛星画像への SPSS 推定モデルの適用

取得した沿岸域人工衛星画像の全ピクセルに対して SPSS 推定モデルを適用し、ピクセルごとに SPSS 推定量を得た。

SPSS 推定量は、地図の形で表現し、ピクセルごとの SPSS 推定値は色の濃淡で大小を表した。

(5) 解析結果

1) 画像の取得

画像の取得に際しては、図 6.2.1-1 に示した区画ごと、また梅雨後(令和 6 年 6 月中旬～7 月)、秋季(令和 6 年 10 月～12 月中旬)、冬季(令和 7 年 1 月～2 月)毎に、雲量が少ない画像を選定した。取得した画像ごとの撮影日を表 6.2.1-6 に示した。

なお、画像は、大気補正が既に実施されている L2A プロダクトを取得した。

表 6.2.1-6 取得画像の撮影日一覧

取得人工衛星画像の撮影日					
	区画	対象地域	梅雨後	秋季	冬季
本島エリア	T52RBQ	久米島	7/7	11/4	1/18
	T52RDQ	本島北部	8/3	10/7	1/18
	T52RCQ	本島中部	6/24	10/22	1/18
	T52RCP	本島南部	7/7	10/7	3/1
先島エリア	T51RWH	西表島北	7/20	12/2	2/25
	T51RXH	石垣島	7/10	12/2	3/2
	T51RYH	宮古島	7/22	12/4	1/18

注:T52RDQ(本島北部)の梅雨後については、対象期間の画像全てに雲が多く見られたことから 8/3 の画像を採用した。

各季ごと、エリアごとの画像を図 6.2-6～図 6.2-8 に示した。なお補助的に解析対象とした沿岸海域境界を重ねて表示してある。

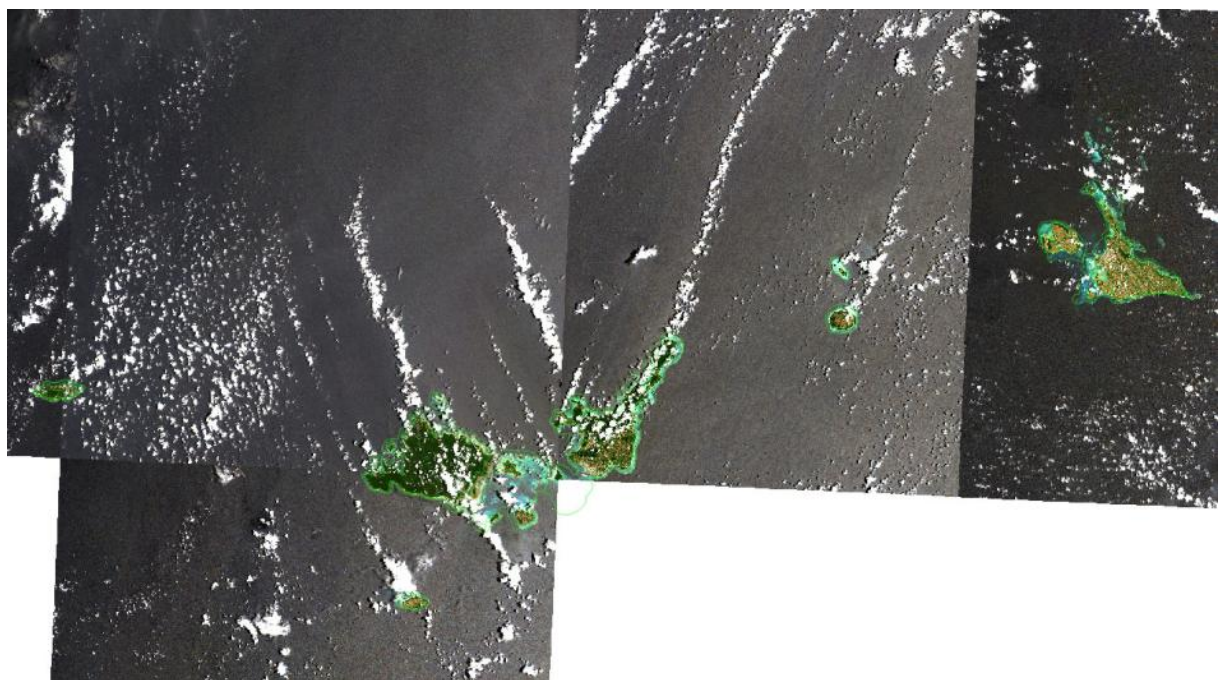
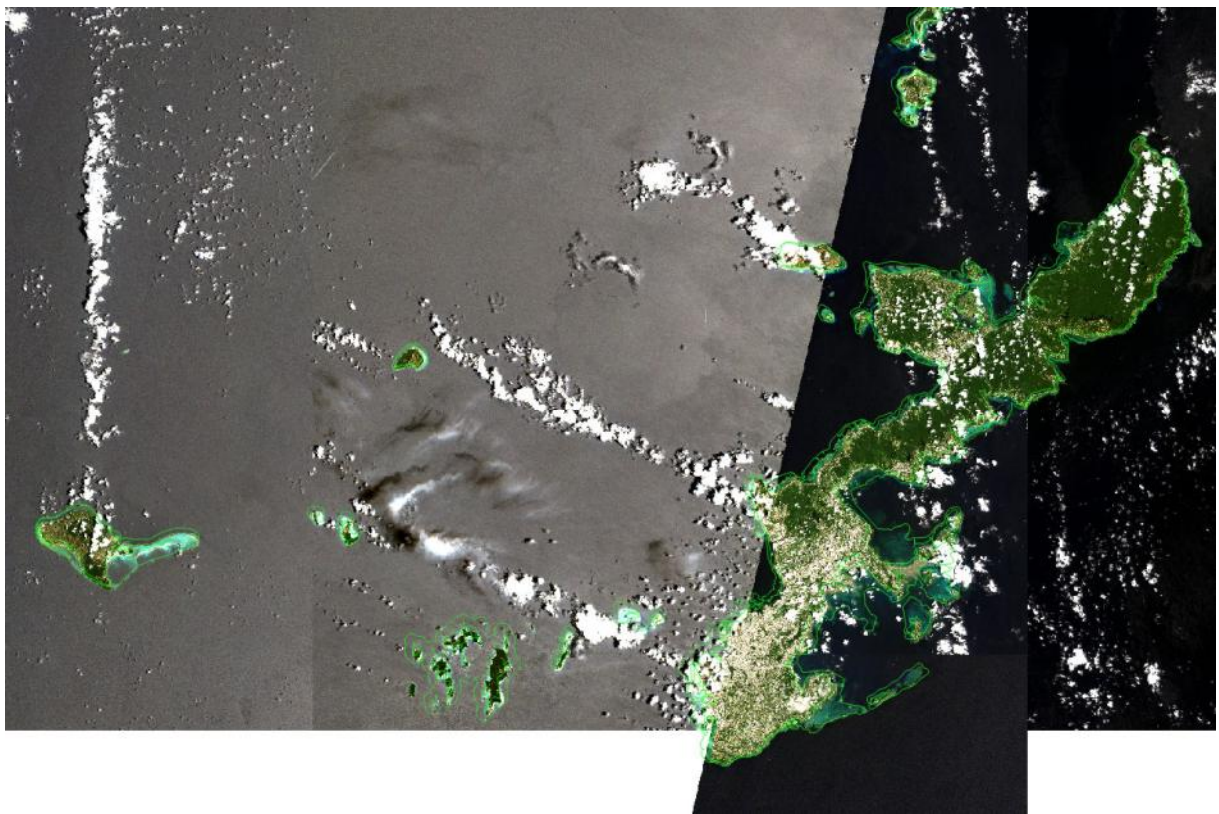


図 6.2-6 取得画像(梅雨後)

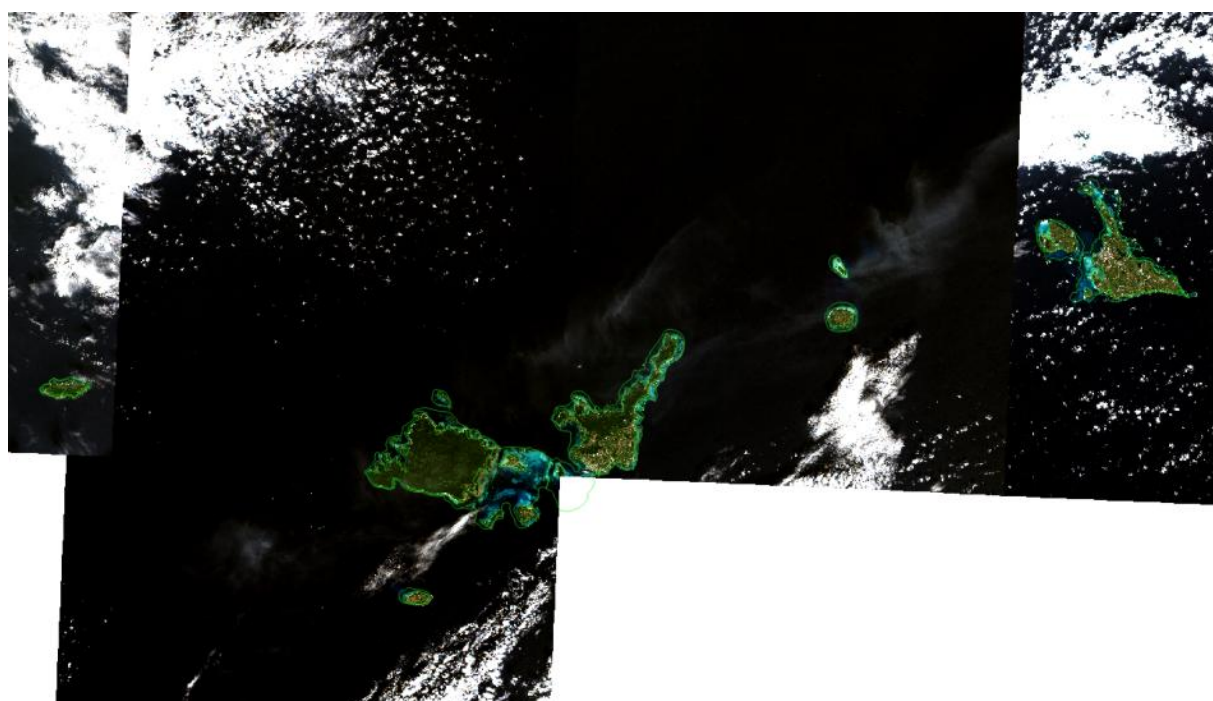
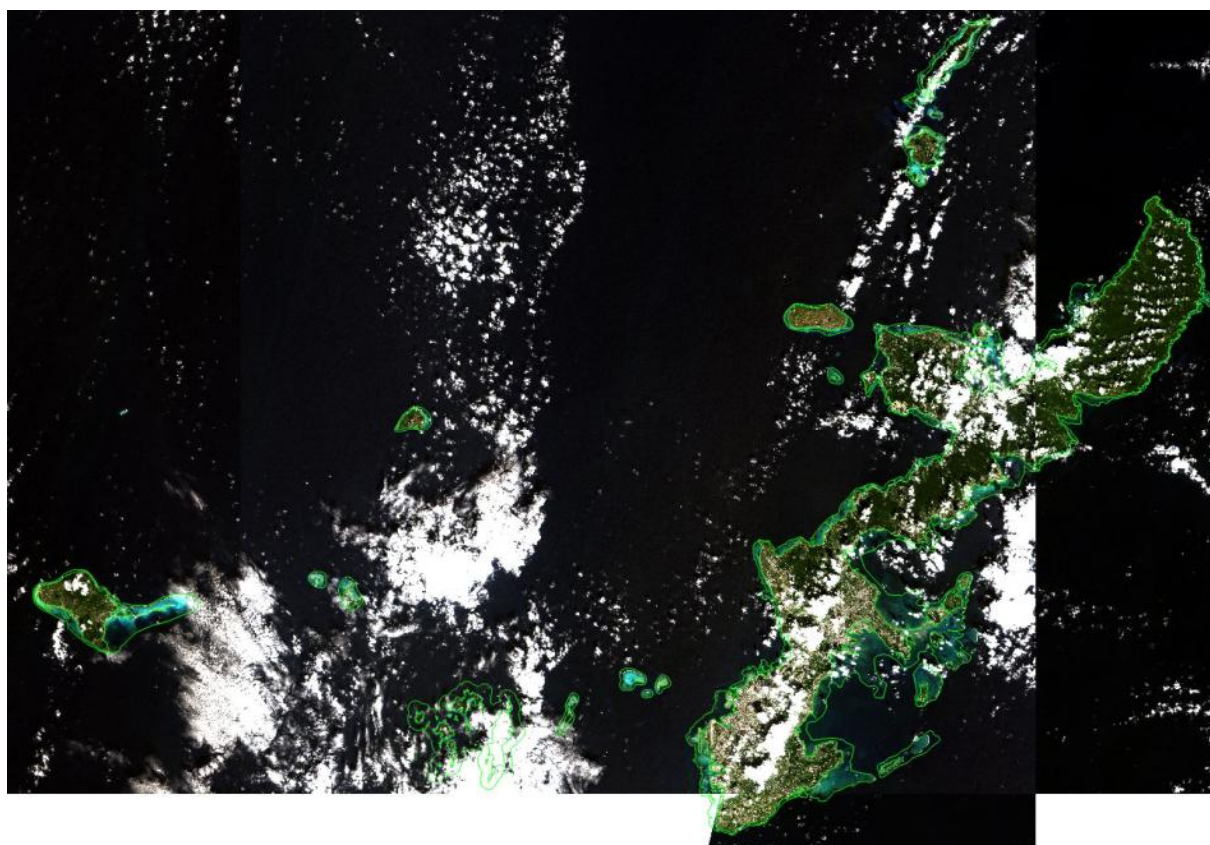


図 6.2-7 取得画像(秋季)

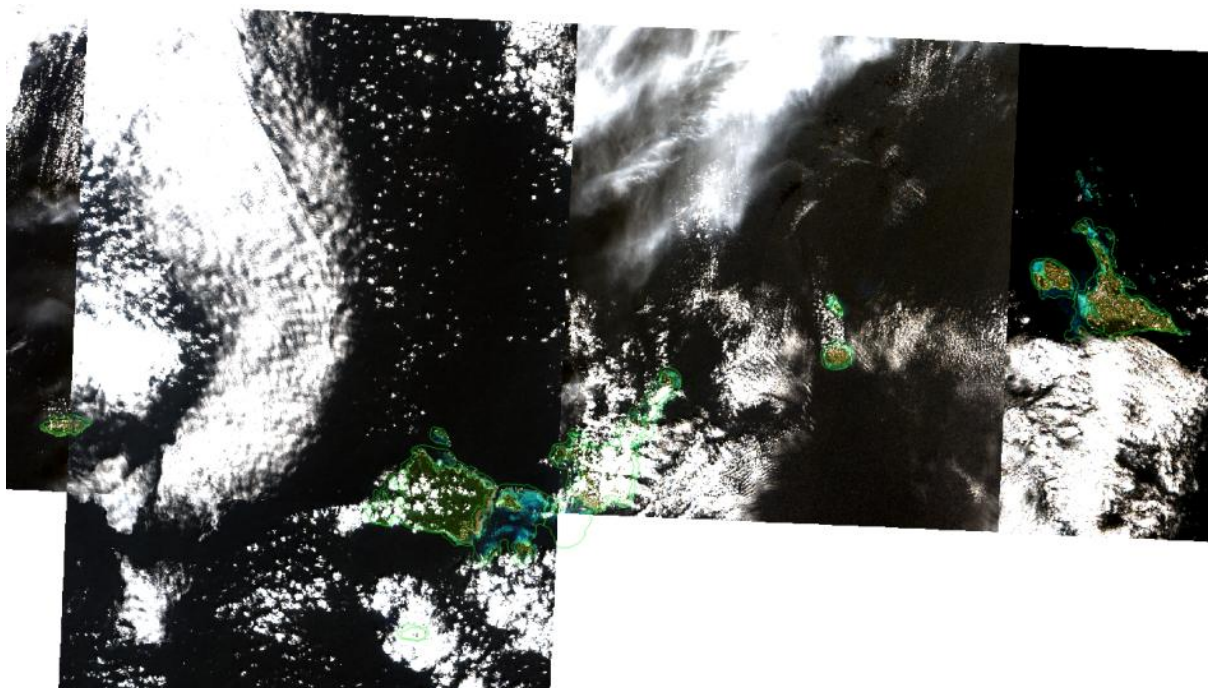
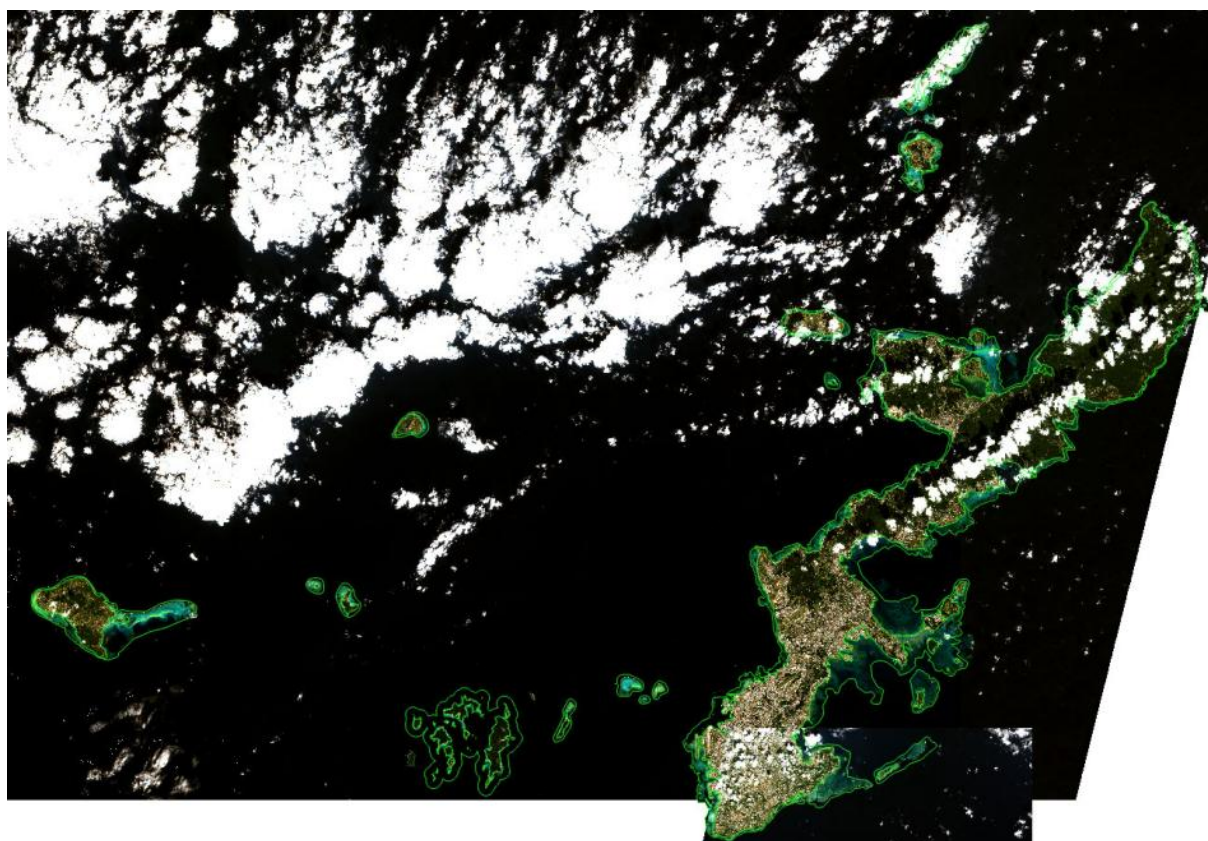


図 6.2-8 取得画像(冬季)

2) 人工衛星画像を活用した SPSS 推定モデルの構築

(a) データセット数

推定モデル構築のために準備出来たデータセット数は 2,424 であった。これは表 6.2.1-4 に示した過年度業務から収集した SPSS、および表 6.2.1-5 に示した対応する衛星画像の組み合わせが元になるが、衛星画像上雲域が重なっている場合等では解析に使用できないことから、これらデータを省いたものである。

全データセットの内、90%のデータを無作為に抽出し、推定モデル構築用にトレーニングデータとして使用した。残りの 10%のデータについては、推定モデルの評価用にテストデータとして使用した。

(b) 推定モデルの評価

推定モデルを評価するため、テストデータについてモデルを適用し、実測 SPSS と推定 SPSS との対応を散布図にて確認した(図 6.2-9)。

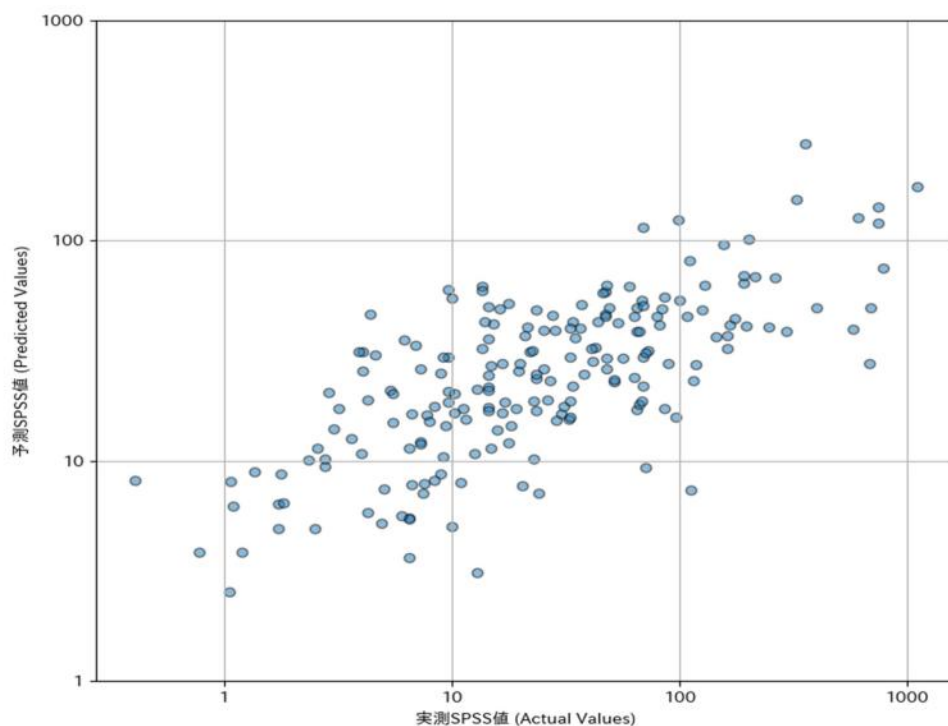


図 6.2-9 実測 SPSS と推定 SPSS との散布図

本比較において、決定係数(R^2)は「0.49」であり、二乗平均平方根誤差(RMSE)は「0.47」であった。

決定係数(R^2)とは、モデルの説明力を示す指標であり、1に近いほど観測値と推定値の一致度が高いことを示す。0に近い場合、モデルの説明力が低いことを意味し、評価や改善の指標として用いられる。

二乗平均平方根誤差 RMSE (Root Mean Square Error)とは、モデルの推定誤差を評価する指標であり、実測値と推定値の差の二乗平均の平方根として計算される。値が小さいほど誤差が少なく、モデルの精度が高いことを示す。

本推定モデルにおける、各説明変数の重要度を確認した(図 6.2-10)。

最も重要度が高いものは、画像識別情報(Region_Code_Enc)であり、次いで、水深(depth)、ブルーバンド(band2)、グリーンバンド(band3)、コースタルバンド(band1)であった。

RSI1 と RSI2 は、最も重要度が低い結果となった。

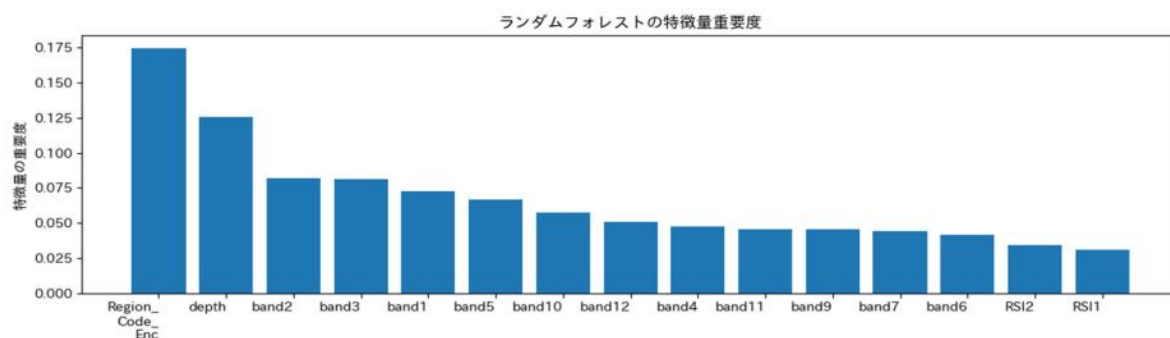


図 6.2-10 各説明変数の重要度

(c) 推定 SPSS に基づく、沿岸域赤土等堆積状況推定図の作成

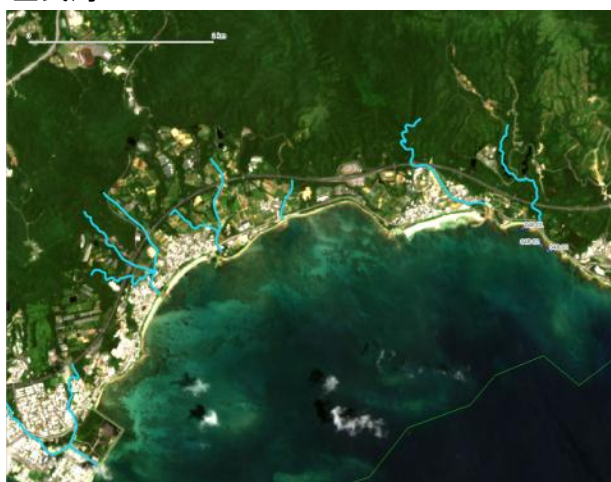
a) 沿岸域赤土等堆積状況推定図一覧

沿岸域赤土等堆積状況推定図の一覧については、p.6.2-28 以降に示した。

b) 海域抜粋

作成した沿岸域赤土等堆積状況推定図の内、いくつかの海域を抽出し、状況を確認した。

金武湾



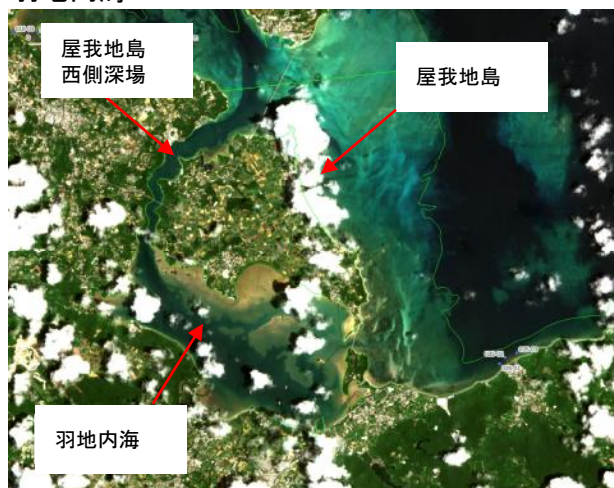
梅雨後状況



堆積推定図(梅雨後)

金武湾における梅雨後の堆積推定図を見ると、各河川の河口沖に高堆積が推定された。これは梅雨時の降雨に伴う、河川からの赤土等流出・堆積を反映できている可能性がある。

・羽地内海



秋季状況



堆積推定図(秋季)

羽地内海における秋季の堆積推定図を見ると、南・西岸側に比較的高堆積が推定された。また、屋我地島西側の深場においても比較的高堆積が推定された。羽地内海においては、北側干潟よりも南側干潟において泥分が多い傾向にあり、その状況を反映できている可能性がある。ただし、湾中央の深場については高堆積域であるが、この範囲については推定できていない。

大井川河口



梅雨後状況



堆積推定図(梅雨後)



堆積量推定図(秋季)



堆積量推定図(冬季)

大井川河口における 3 季の堆積推定図を見ると、梅雨後に堆積量が多く、秋季、冬季では少なくなる傾向が推定された。これは季節風の影響を受ける本島北海岸の変動傾向を反映できている可能性がある。

なお、海域調査地点における今年度の SPSS の変動をみると、干潟地点の 018-3 以外の地点については、梅雨後以降、堆積量が減少する傾向が確認されている(図 6.2-11)。

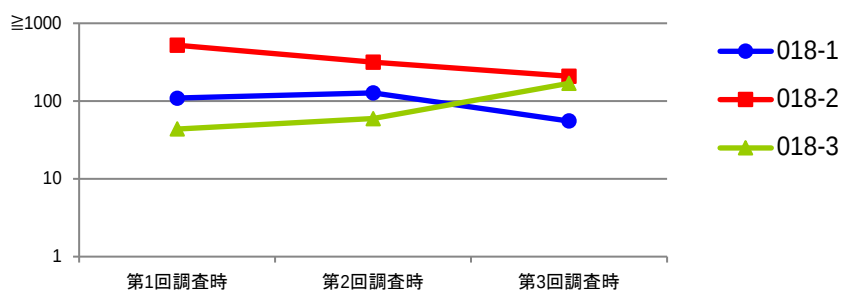


図 6.2-11 大井川河口における今年度実測 SPSS の変動

・ 慶佐次川河口



梅雨後状況



堆積量推定図(梅雨後)



堆積量推定図(秋季)



堆積量推定図(冬季)

図 6.2-12 赤土等堆積状況推定図(慶佐次川河口)

慶佐次川河口における堆積量推定図をみると、梅雨後時期に堆積量が多く、以降減少し、特に冬季では沿岸域で改善する傾向が推定された。

なお、海域調査地点における今年度の SPSS の変動をみると、河口近くの 015-3 においては、冬季に SPSS が顕著に改善しており、推定図との整合が見られた(図 6.2-13)。

ただし、沖合の 015-1 については、第3回調査時に SPSS は最大値であったが、堆積量推定図ではその傾向はみられていない(図 6.2-13)。

。

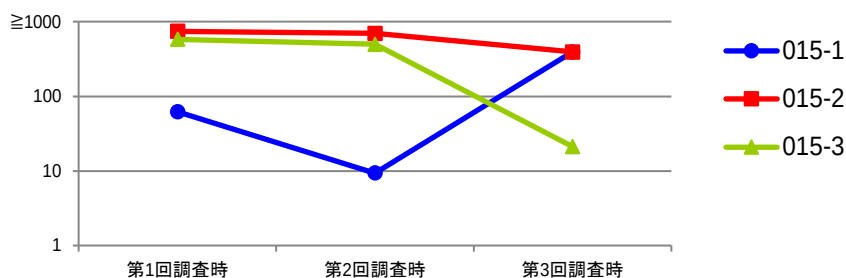


図 6.2-13 慶佐次川河口における今年度実測 SPSS の変動

・ 白保海域(轟川河口)



梅雨後状況



堆積推定量(梅雨後)



堆積推定量(秋季)



堆積推定量(冬季)

図 6.2-14 赤土等堆積状況推定図(白保海域)

白保海域における堆積量推定図をみると、梅雨後から秋季にかけて減少する傾向が推定された(冬季は、本海域のほとんどが雲域であった)。

なお、海域調査地点における今年度梅雨後から秋季にかけての SPSS の変動をみると、若干の変動はあるものの、堆積推定図が示すほどの堆積量の改善は確認されていない(図 6.2-15)。

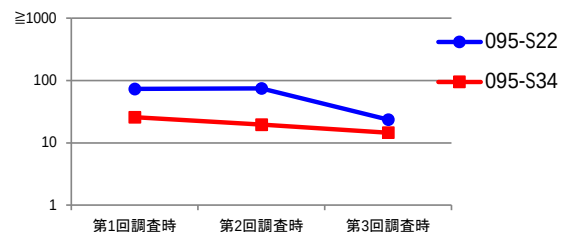
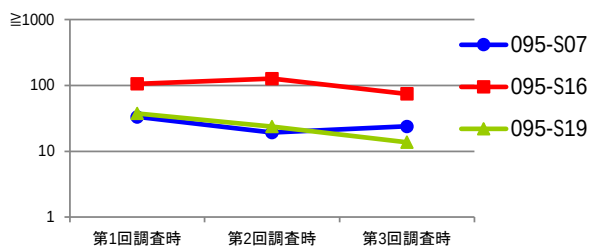


図 6.2-15 白保海域における今年度実測 SPSS の変動(監視地点のみ)

・ 久米島周辺海域



梅雨後状況



堆積状況推定図(梅雨後)



堆積推定図(秋季)



堆積推定図(冬季)

図 6.2-16 赤土等堆積状況推定図(久米島周辺海域)

久米島周辺海域の堆積推定図を見ると、秋季、冬季においてはほとんど堆積がない状態が推定された。これは明らかに誤推定であり、原因を特定し、解決を図る必要がある。なお、同課題は、西表島周辺海域の堆積推定図においても発生している。

これらのことから、本モデルを元に赤土等堆積推定図を作成するに際しては、改善すべき課題が複数見つかった(「(7)今後の検討課題」参照)。

(6) 公開用資料の検討

沖縄県ホームページでの公開を想定し、公開用資料案のフォームを検討した。

1) 今年度における方針案

公開用資料については以下の方針を案とした。

- ・監視地域、重点監視地域の沿岸海域を対象とし、一般海域は対象としない。
- ・SPSS 推定値を SPSS ランクに換算し、各海域を一意的ランクで表現する。

2) 各海域における一意的 SPSS ランクについて

人工衛星画像を元にした SPSS 推定値は、前述の通り、沿岸海域全ピクセルにおいて存在する。そこで、各海域における一意的 SPSS ランクを設定するにあたっての基準が必要となる。

案として、各海域の「代表評価地点」となる位置の SPSS 推定値を採用する。

代表評価地点とは、礁池内の赤土等拡散経路上に位置するサンゴ等が生息する範囲であり、各海域の環境保全目標は、基本的に代表評価地点での SPSS を基準に設定されている。

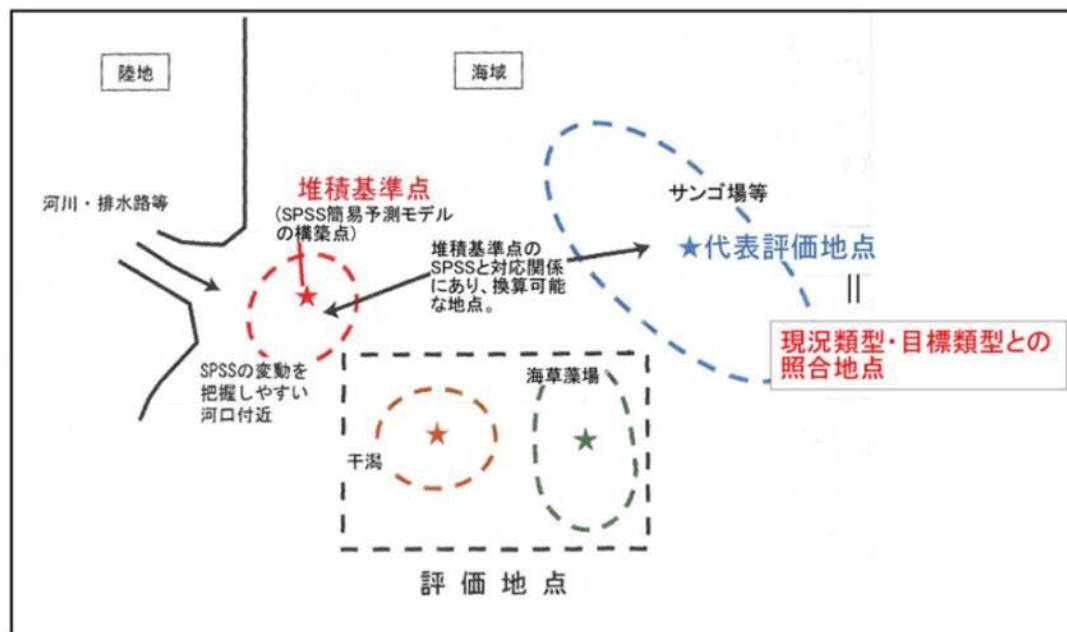


図 6.2-17 代表評価地点等の考え方(第一次基本計画より抜粋)

各海域の代表評価地点は、第一次基本計画策定時、予測モデルを構築した海域において設定されている(平成23年度赤土等の堆積による環境負荷調査報告書 p.3.1-33～38 参照)。ただしモデルが構築できなかった海域においては、代表評価地点が設定されていないことから、これらについては海域地形等を元に、代表評価地点となりうる位置を設定する必要がある。

具体例として、漢那中港川河口海域における SPSS 推定図を図 6.2-18 に示した。
本海域での代表評価地点(043-03)の位置における SPSS 推定値を採用することとなる。



図 6.2-18 漢那中港川河口における SPSS 推定図と代表評価地点位置

3) 公開用資料のイメージ図

公開用資料のイメージ図を図 6.2-19 に示した。

- ・重点監視地域、監視地域に対応する海域について、推定 SPSS ランクを色別で示した。
- ・一般地域に対応する海域については、推定ランク等記載しない。

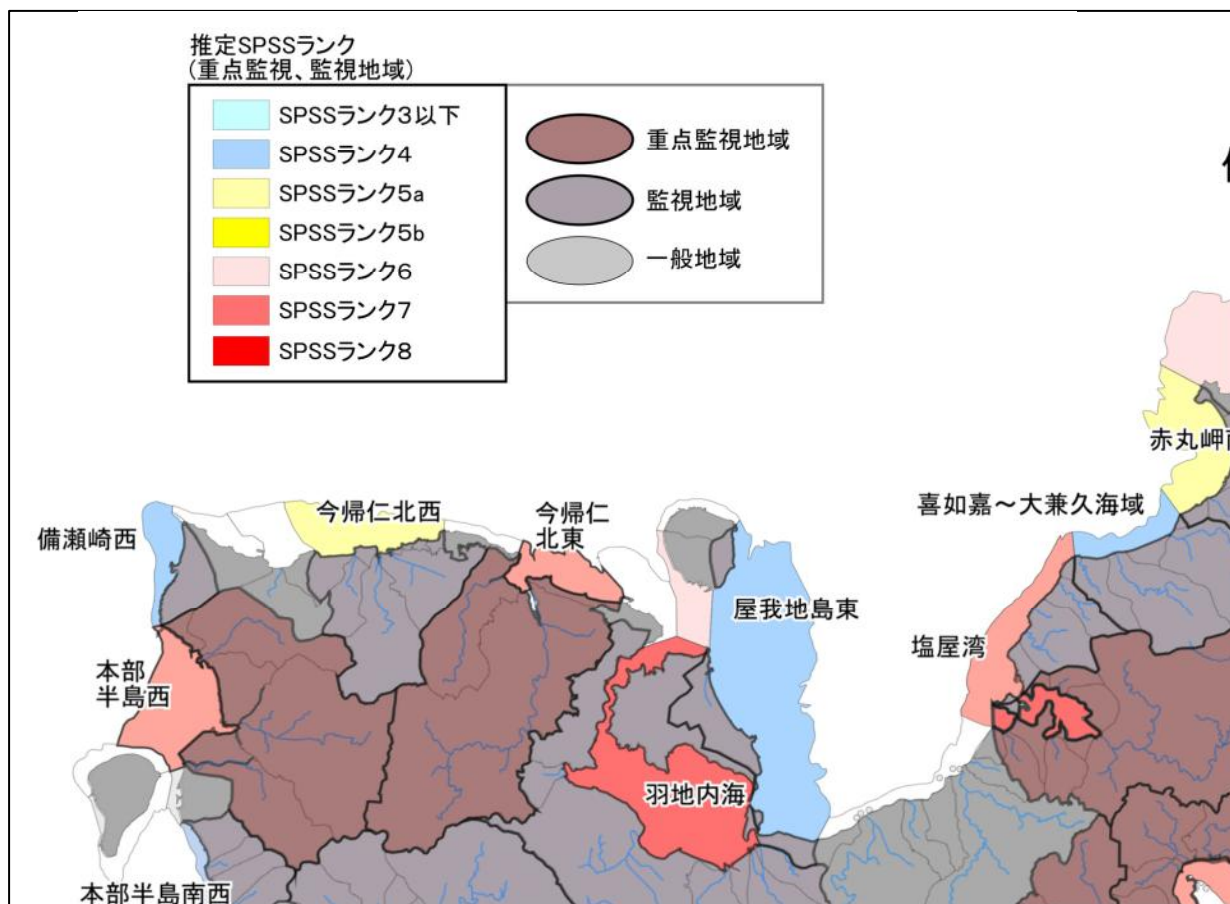


図 6.2-19 公開用資料のイメージ図

今回、案としての公開用資料イメージを作成したが、実際の公開に向け、フォーマット等を確定させる必要がある。

(7) 今後の検討課題

今回、ランダムフォレスト法による SPSS 推定モデルを適応し、沿岸海域における赤土堆積量推定を行った。

作成したモデルの精度としては、決定係数 0.49 であり、一定程度の妥当性はあると考えられたが、より高精度のモデルに向け改良を図る必要がある。

また、本モデルを元に、堆積推定図を作成するに際しては、改善すべき課題が複数見つかった。次年度以降、これら課題について解決を図っていく。

(a) モデル構築時における水深情報の補正

今回、モデル構築時の水深データは、各地点ごとに、各 SPSS 調査時実測水深の平均値を採用したが、各人工衛星画像の撮影日時に合わせた水深にすることがモデルの精度向上のために必要と考えられる。

沿岸海域の水深は、大潮時においては最大 2m 程度変動することから、人工衛星撮影日時の実測水深と SPSS 調査時水深の平均値の差が大きい場合、誤差要因になる可能性がある。

具体的には、実測水深測定日時と人工衛星画像撮影日時を特定し、潮位表を用いて、実測水深を人工衛星撮影日時水深に換算した上で、モデルに投入する教師データとするという流れが考えられる。

(b) SPSS 推定モデル適用用の水深情報の補正

今回、構築したモデルを用いて SPSS 推定図を作成するにあたり、水深情報としては海上保安庁提供 M7000 シリーズを活用し、構築モデルに投入した。本水深情報では、低潮線(干潮時における海面と陸地との境界線)を 0m としているため、サンゴ礁海域の礁池等や干潟域では、干潮時以外ではある程度の水深があるものの、一律 0m となっている場所も存在する。

そのため、これらの範囲で構築モデルを適用する際、水深は 0m として SPSS が推定されているため、誤差が生じている可能性がある。

本問題を解決するためには、0m とされている範囲は一律水深 1m とする等の処理が考えられる。ただし、実際 0m の範囲も 1m となってしまうため別の誤差要因となってしまう恐れもあることから適用手法について検討する必要がある。

(c) 低 SPSS 分布図の修正

前述した通り、今回、久米島周辺海域等では、秋季、冬季において沿岸域全域で顕著に SPSS 堆積量が低い傾向が推定された。この原因は現時点では不明であるが、原因を特定し改良を図る必要がある。

(d) 公開用資料のフォーマット

今回、案としての公開用資料のイメージ図を作成したが、実際の公開に向け、フォーマット等を確定させる必要がある。