

衛星画像を用いた裸地の抽出手法に関する検討

糸洲昌子・比嘉彩也香・座間味佳孝*

A Study on Extraction Methods for Bare Soil Using Satellite Imagery

Shoko ITOSU, Sayaka HIGA and Yoshitaka ZAMAMI*

要旨： 沖縄県内の宜野座地域を対象に、衛星画像を用いた裸地部分を抽出する手法について、用いる指数の適用性及び解像度による影響の観点から検討した。Sentinel-2 の画像を用いた場合、指数として NDVI（正規化植生指数）と GSI（粒度指数）を用いるのが最も効率的であった。また解像度については、1.5 m 解像度と 10 m 解像度で抽出された裸地面積を比較したところ 5% の差であった。

Key words: 赤土等、沖縄県、リモートセンシング、衛星画像

I はじめに

沖縄県では赤土等の流出防止対策の総合的・計画的な実施を目的に 2013 年に「沖縄県赤土等流出防止対策基本計画」を策定した。現在は当該計画の後継である「第 2 次沖縄県赤土等流出防止対策基本計画（以下、「基本計画」という。）」¹⁾ が実行中であり、旧計画での課題等を踏まえ、赤土等流出防止対策を推進しているところである。当該計画では、海域に目指すべき沿岸域の状況として「環境保全目標」を設定し、陸域に当該目標の達成状況を把握するための指数として「流出削減割合」を示している。

「流出削減割合」の状況把握のためには、陸域の赤土等の対策状況等を踏まえ赤土等流出量の推計値を求める必要がある。主な赤土等の流出源として、農地、開発事業及び米軍基地の 3 つがあげられる。農地及び開発事業からの流出量は所管する部署がとりまとめた情報を基に推計することができる。しかしながら米軍基地については、立入り調査などにより赤土等が露出している裸地の情報を得ることが困難なため、当研究所では衛星画像等を用いて裸地部分の把握を行っている。

1. 裸地抽出手法について

衛星画像は地上から反射される赤外線、可視光線及び紫外線などの波長帯を観測することにより、地上にある地物の特性を把握することができる。その原理を活用し、観測された各波長のピクセル値を組み合わせることで計算することにより、目標物を他の地物と区別して際立たせることが可能である。

令和 4 年度（2022 年度）沖縄県赤土等流出防止対策検

証事業調査結果²⁾ では沖縄県内の裸地を把握するために、裸地抽出手法として NDVI（Normalized Difference Vegetation Index：正規化植生指数）³⁾ と GSI（Grain Size Index：粒度指数）⁴⁾ を組み合わせて実施している。NDVI は植生の量や活力を数値化する指数であり、GSI は土壌表面の粒子の大きさを表す指数である。令和 4 年度赤土等流出防止対策検証事業報告書報告の中では建造物の赤瓦が裸地と同様な GSI 値をとるため、同様に抽出されてしまうことが課題とされている。裸地抽出に係る他の研究事例では GSI 以外に Rikimaru *et al.* (2002)⁵⁾ の BSI（Bare Soil Index：裸地指数）などが知られており、対象や目的によって適用性の高い指数を検討する必要がある。そこで本報では一つ目の目的として、GSI と複数の BSI による裸地抽出結果を比較した。加えて NDBI⁶⁾（Normalized Difference Built-up Index：都市化指数）や SAR（Synthetic Aperture Rader：合成開口レーダ）画像を使用して赤瓦構造物を除去できるかについて検討した。

2. 衛星画像の解像度について

入手可能な衛星画像には様々な種類があり、解像度 10 m 程度の無償の画像から、高解像度だが有償の画像もある。これらは抽出したい対象物に応じて適切な解像度を選定する必要がある。そこで本報では二つ目の目的として、対象物が森林中の裸地の場合、どの程度の解像度が必要となるか確認するため、複数の解像度を用いて裸地抽出結果にどの程度の影響が出るか確認した。

* 沖縄県環境保全課

Ⅱ 方法

1. 対象地域

対象地域は基本計画において重点監視地域に指定されており(図1), 流域全体からの推計流出量に占める米軍基地からの赤土等流出量推計値の比率が多い「宜野座南東海域」を選定した(図2)。

2. 裸地範囲抽出に用いる指数等の検討

(1) 裸地を抽出する衛星画像の検索及び取得

衛星画像には, ESA (European Space Agency: 欧州宇宙機構) が無償で公開している Sentinel-1 及び Sentinel-2 の衛星画像を用いた。衛星画像はウェブサイト「Copernicus Browser」から検索, 取得を行った。

Sentinel-1 は SAR センサを搭載しており, 自ら発射して地表で跳ね返ってきたマイクロ波を観測する仕組みとなっている。マイクロ波は雲や雨の影響を受けず, 夜間でも観測可能であるという利点がある。SAR 画像はマイクロ波が地表で照射方向に反射された散乱(後方散乱)を観測しており, これらは表面の材質や凹凸に応じた散乱の仕方によってその強度が変化する。また照射されるマイクロ波は照射方向に対して



図2. 宜野座南東海域の衛星画像。

水平(Horizon)に振動するものと垂直(Vertical)に振動するものがある。送受信の組み合わせで HH, HV, VH, VV があり, 対象の構造等によって反射の際の偏波の挙動も異なる。これらの特性を利用することによって地表の状況を把握し, 人工物と自然物も区別できるとされている。衛星画像の検索条件は C-SAR, Level-1 SLC とした。

Sentinel-2 は可視光から近赤外までの 13 バンドを観測する機器を搭載している(表1)。衛星画像の検索条件は大気補正あり(L2A (Atmospherically corrected)), Cloud coverage を 10%, Time range を 2023 年 4 月 1 日から 2024 年 3 月 31 日とした。Cloud coverage は海域も含めた衛星画像全体に対する雲の割合であるため, 該当した画像の中から陸域にかかる雲が少ない画像を選択した。

表1. Sentinel-2 の観測バンドの一覧

バンド	波長	中心波長	解像度	観測項目
B1	indigo	443 nm	60 m	エアロゾル
B2	Blue	490 nm	10 m	エアロゾル / 陸域情報
B3	Green	560 nm	10 m	陸域情報
B4	Red	665 nm	10 m	
B5	VNIR	705 nm	20 m	土地被覆分類、クロロフィル含有量、葉の水量、LAI、fAPAR、雪/氷/雲、鉱物検出
B6	VNIR	740 nm	20 m	
B7	VNIR	783 nm	20 m	
B8	NIR	842 nm	10 m	水蒸気補正 / 陸域情報
B8a	NIR	865 nm	20 m	水蒸気補正 / 陸域情報
B9	NIR	945 nm	60 m	水蒸気補正
B10	SWIR	1375 nm	60 m	巻雲の検知
B11	SWIR	1610 nm	20 m	陸域情報
B12	SWIR	2190 nm	20 m	エアロゾル / 陸域情報

(2) 画像解析方法

1) マルチバンド画像について

2023 年 5 月 11 日撮影の画像を用い, フリーソフトの QGIS (バージョン 3.40.7) で画像作成をおこなっ

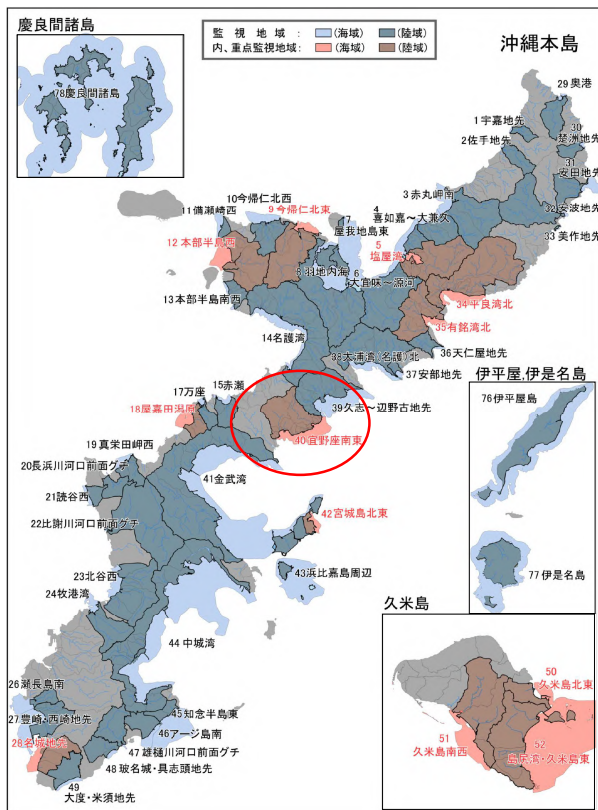


図1. 監視地域及び重点監視地域位置図(第2次沖縄県赤土等流出防止対策基本計画¹⁾より抜粋)。

た．まずバンド 2～4 を RGB にあてはめ，トゥルーカラー画像を作成した．各指数画像についてはラスタ計算機能により，式(1)～(5)のとおり NDVI，GSI，BSI（複数の算出式があったため 2 パターン^{5,6)}）及び NDBI それぞれの画像を作成した（NIR については B8，SWIR については B11 を使用）．

$$\text{正規化植生指数}^{3)} \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \cdots (1)$$

$$\text{粒度指数}^{4)} \text{GSI} = \frac{\text{R} - \text{B}}{\text{R} + \text{G} + \text{B}} \cdots (2)$$

$$\text{裸地指数}^{6)} \text{BSI}(1) = \frac{\text{R} + \text{B} - \text{G}}{\text{R} + \text{B} + \text{G}} \cdots (3)$$

$$\text{裸地指数}^{5)} \text{BSI}(2) = \frac{(\text{SWIR} + \text{R}) - (\text{NIR} + \text{B})}{(\text{SWIR} + \text{R}) + (\text{NIR} + \text{B})} \cdots (4)$$

$$\text{都市化指数}^{7)} \text{NDBI} = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}} \cdots (5)$$

NIR：近赤外バンド

R：可視域赤色バンド

G：可視域緑バンド

B：可視域青バンド

SWIR：短波長赤外線バンド

2) SAR 画像について

SAR 画像は ESA の SNAP というフリーソフトを用いて放射補正，スペックルノイズ除去，地形補正を行い，GeoTIFF（位置情報を含んだ画像形式）ファイルとして出力した．

3) 裸地抽出検討のフロー

1) で出力した NDVI 画像で対象地域内の植生範囲を除去し，無植生範囲における裸地範囲を GSI 及び BSI 画像で抽出した．また 1) で出力した NDBI 画像及び 2) で出力した SAR 画像による構造物の除去が可能か検証した．

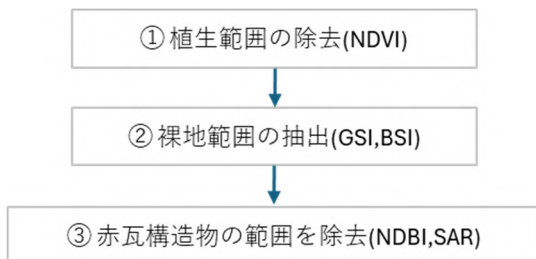


図 3. フロー図

3. 裸地抽出に必要な解像度の検討

過去に購入した 1.5 m 解像度の SPOT 衛星画像（2019 年 10 月 5 日撮影）を用い，QGIS により解像度を 10 m に調整した衛星画像を作成し，1.5 m 及び 10 m 解像度において裸地抽出作業を行った．SPOT のバンド情報は表 2 のとおりである．裸地の抽出手法については（1）で検証した結果を採用して実施した．

表 2. SPOT の観測バンドの一覧

バンド	波長	解像度
Blue	454～519 nm	6.0 m
Green	527～587 nm	6.0 m
Red	624～694 nm	6.0 m
Near Infrared	756～880 nm	6.0 m
Panchromatic	455～744 nm	1.5 m

Ⅲ 結果及び考察

1. 裸地範囲抽出に用いる指数等の検討

（1）植生範囲の除去結果

対象範囲において作成した NDVI 画像を図 4 に示す．NDVI は植生の活性度を示す値であるため，植生範囲が白に近く高い値を示していることがわかる．植生箇所の NDVI 値を確認し，閾値（0.3）を設定して無植生箇所を抽出した結果，概ね無植生箇所を抽出できていた（図 5）．

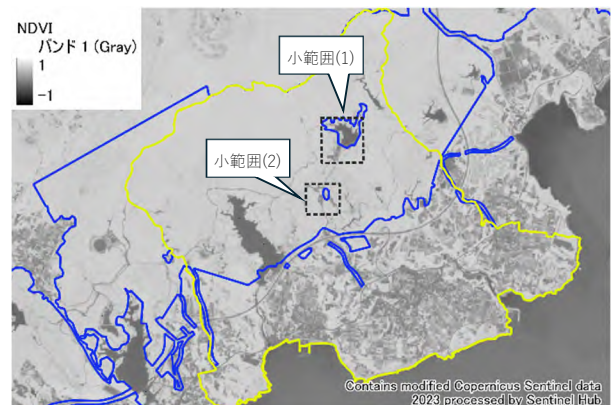


図 4. NDVI 画像（式(1)より算出）．

（2）裸地範囲の抽出結果

式(2)～(4)により作成した GSI，BSI(1)及び BSI(2)画像は図 6 のとおりである．植生のない箇所が白に近く高い値，植生範囲が黒に近く低い値をとっていることがわかる．裸地箇所のピクセル値を確認し，閾値（GSI：0.085，BSI(1)：0.3，BSI(2)：0.06）を設定して裸地箇所を

抽出した結果の一例を図 7 に示す。図 7 の(a)~(c)は各指数画像(赤い線で囲まれたところは閾値以上として抽出された範囲)、(d)は Google Earth 画像、(e)は 3 指数の抽出された裸地範囲をトゥルーカラー画像に重ねた結果である。

図 7(a)の GSI 画像では植生範囲、水面範囲、人工構造物の値と比較して裸地範囲が白に近く高い値となった。図 7(b)の BSI(1)画像では、裸地範囲と水面や構造物が近い値であったため、分離することができなかった。図 7(c)の BSI(2)画像では、植生範囲と水面範囲は分離できていたが、ダム下流の堤体や構造物と裸地の範囲が同様な値をとっていたため、分離することができなかった。図 7(d)の Google Earth 画像及び図 7(e)の重ねた 3 指数の結果を比較すると、GSI 画像で構造物や水面を適切に分離し、裸地部分に近い箇所を抽出できていることがわかる。

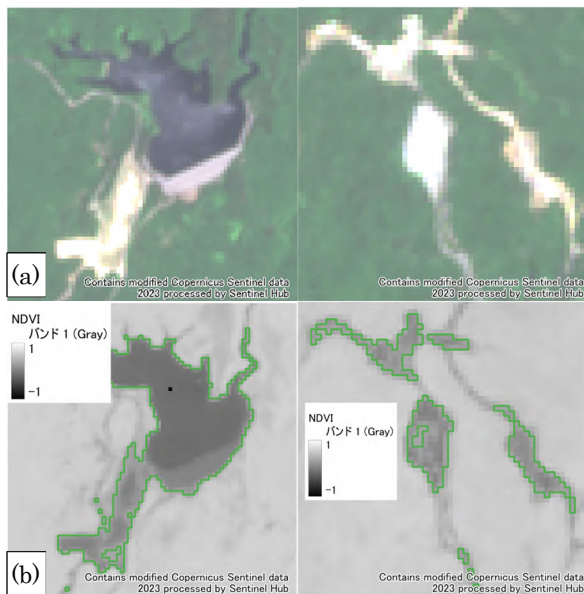


図 5. 小範囲(1) (左)と小範囲(2) (右)の比較。(a)トゥルーカラー画像、(b)NDVI 画像(緑の線で囲われた範囲が閾値以下の範囲)。

(3) 赤瓦構造物範囲の除去の検討

(5)式より作成した NDBI 画像及び SAR から作成した VV 偏波画像は図 8 のとおりである。NDBI 画像は赤瓦のピクセル値から閾値(0.07)を設定し範囲を抽出した。閾値を設定するにあたり、トゥルーカラー画像のみで赤瓦範囲を確認するのは困難であったため Google satellite 画像も参考にして設定した。

各画像の小範囲(3)の状況を図 9 に示す。図 9(a)及び(c)

内の黄色線で囲われた範囲は NDBI が閾値以上の箇所である。NDBI 画像では赤瓦範囲と裸地範囲が同様な値を示しており、赤瓦と裸地を分離するのは困難であった。

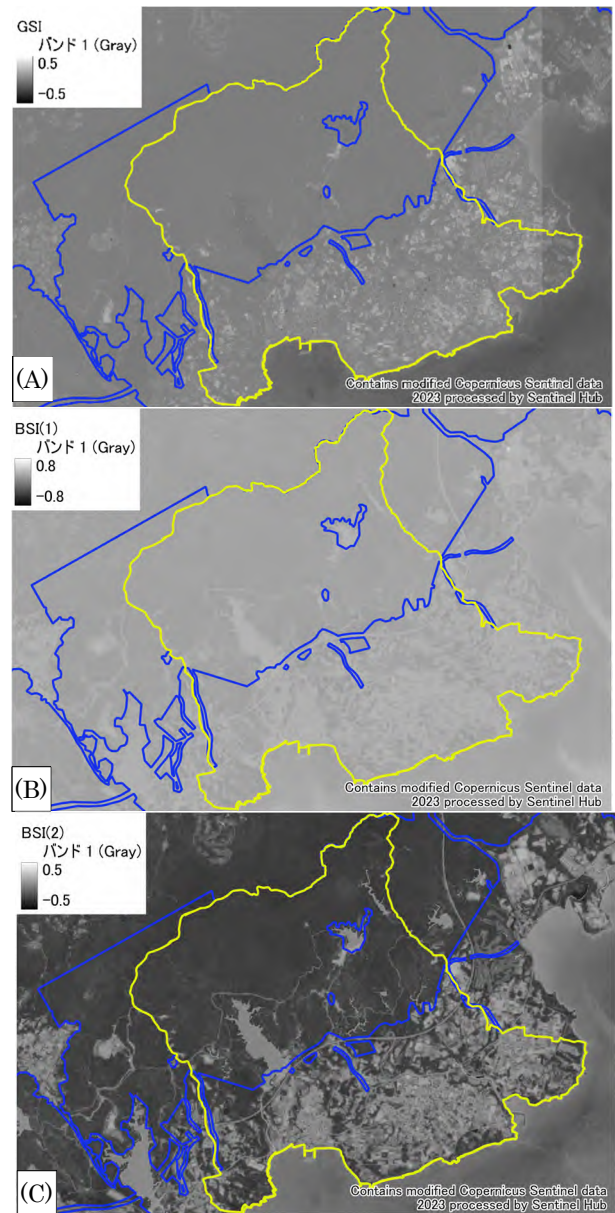


図 6. 裸地箇所抽出にかかる各指数の画像。(A) GSI 画像(式(2)より算出)、(B) BSI(1) (式(3)より算出)、(C) BSI(2) (式(4)より算出)。

また図 8(B)及び図 9(b)の SAR の VV 偏波画像では、水面範囲は分離できるものの、地形による散乱の影響が大きく、構造物と天然物を分離するのは困難であった。土地が平坦ではないことや、構造物が高密度では存在していないことなどから、地形によるノイズが大きく、対象物質の散乱特性の差をとりにくいことが推察された。

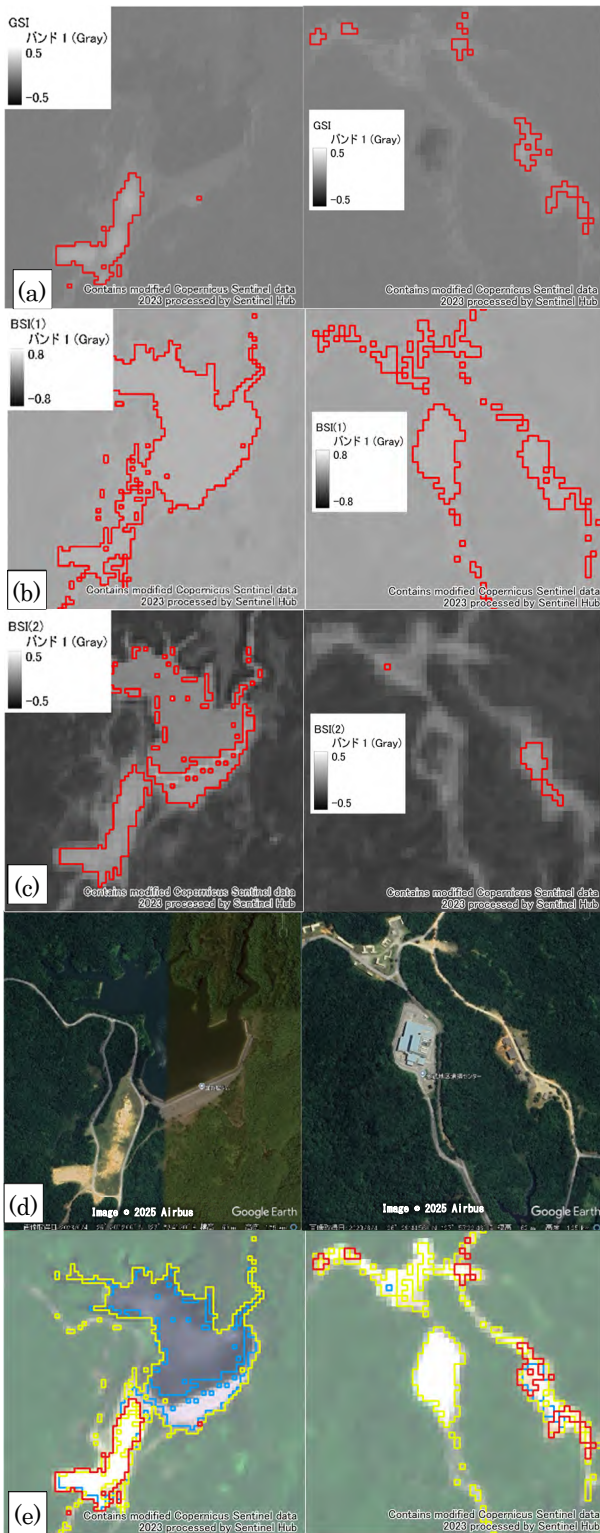


図 7. 小範囲(1) (左)と小範囲(2) (右)の比較. (a) GSI 画像, (b) BSI (1) 画像, (c) BSI (2) 画像, (d) Google Earth 画像 (画像取得日: 2023/6/4), (e) トゥルーカラー画像と裸地抽出箇所 (赤: GSI, 黄色: BSI (1), 青: BSI (2)).

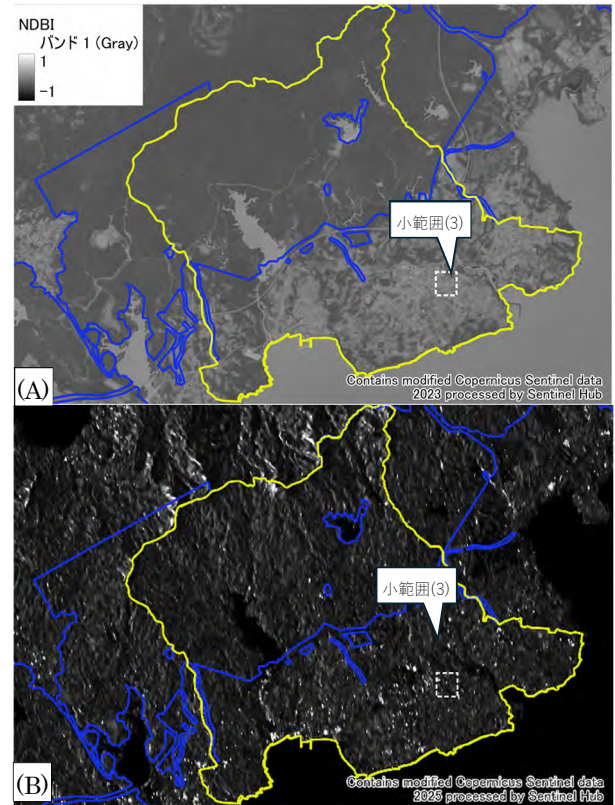


図 8. 構造物抽出に係る指数画像等. (A) NDBI 画像 (式 (5) より算出), (B) SAR の VV 偏波画像.

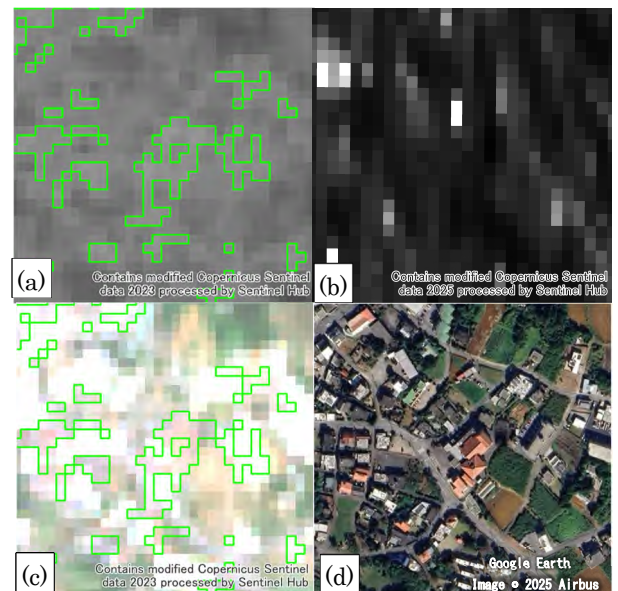


図 9. 小範囲(3)の比較画像. (a) NDBI 画像 (黄緑色線で囲われた範囲は閾値以上の範囲を示す), (b) SAR の VV 偏波画像, (c) トゥルーカラー画像 (黄緑色線で囲われた範囲が NDBI の閾値以上範囲を示す), (d) Google Earth 画像 (画像取得日: 2025/1/4).

(4) 裸地抽出指数等のまとめ

複数の指数やSAR画像等で比較検討したところ、NDVI画像及びGSI画像による裸地抽出方法が現状では最も効率的かつ精度よく裸地を抽出できると考えられた。図7(a)の裸地抽出範囲結果から、GSI画像のみでも植生範囲を取り除くことは可能と考えられたが、精度よく様々なデータに対応するためには複数指数によって抽出範囲を絞り込んだ方がよいと考えられる。

赤瓦部分を裸地と誤判定する課題については、赤瓦と裸地の光の吸収バンドが似ていることから、色相の指数単独で判別することは困難であると考えられた。しかしながら米軍基地内においては赤瓦構造物があまり存在しなかったため、裸地抽出作業への影響は小さいと考えられる。全県的な裸地抽出作業の場合は、高解像度の衛星画像を利用したセマンティックセグメンテーションによる手法⁸⁾や複数データを融合させて使用するデータフュージョン⁹⁾などが活用できる可能性がある。また、赤瓦構造物は裸地や植生と比較して変化が小さいと考えられるため、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が公開している10m解像度の高解像度土地利用土地被覆データ¹⁰⁾の活用なども可能であると考えられる。今後も引き続き画像解析手法について検討していきたい。

2. 裸地抽出に必要な解像度の検討

今回用いたSPOT衛星画像は無加工の値では裸地部分の抽出が困難であった。原因として、色調補正や8bitレンダリング(ピクセル値が0~255の範囲となるように処理)されていること、パンシャープン処理(マルチスペクトル画像に高解像度のモノクロのパンクロマティック画像を合成して高解像度化)がされていることなどが考えられた。そのため、Sentinel-2画像とSPOT画像の小範囲(1)におけるRGBそれぞれのピクセル値を読み出し、二次近似式により新たにピクセル値を得た上でNDVI画像とGSI画像を作成した。作成した画像でNDVI及びGSIの閾値を設定し、裸地範囲を抽出した。

1.5m解像度及び10m解像度の衛星画像から裸地を抽出した結果の一例を図10に示す。NDVI及びGSIの画像から抽出された裸地の総面積は、1.5m解像度の場合は3.47ha、10m解像度の場合は3.64haとなり、その差は約5%の差であった。衛星画像の解像度については抽出したい対象や目的に応じて選定する必要がある。

IV まとめ

裸地抽出手法について検討したところ、次のとおりであった。

- (1) 沖縄県における裸地の抽出手法として複数の指数を検討した結果、NDVI及びGSIにより抽出する方法が適していると考えられた。
- (2) 宜野座南東海域の米軍基地範囲において、1.5m解像度及び10m解像度の衛星画像で裸地抽出を行った結果、抽出された裸地面積の差は5%であった。

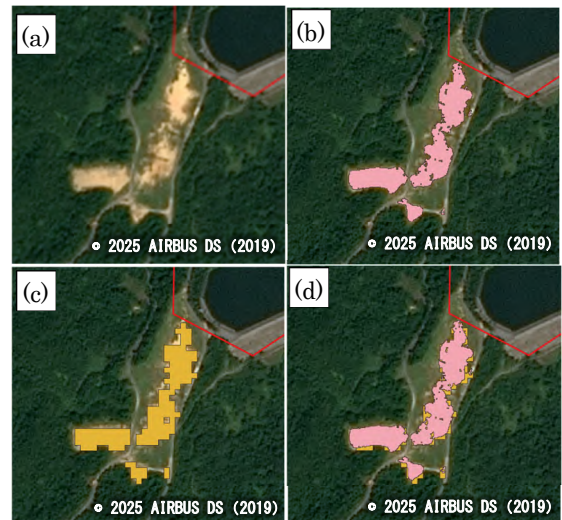


図10. 裸地抽出箇所と比較。(a)1.5m解像度トゥルーカラー画像、(b)1.5m解像度裸地抽出箇所、(c)10m解像度裸地抽出箇所、(d)(b)及び(c)を重ねた結果。

<謝辞>

本資料の作成にあたり、株式会社沖縄環境保全研究所の吉本昌弘様より解析手法に関する貴重な知見を賜ったことに、心より感謝申し上げます。

V 参考文献

- 1) 沖縄県環境保全課(2023).第2次沖縄県赤土等流出防止対策基本計画
- 2) 沖縄県環境保全課(2023).令和4年度赤土等流出防止対策検証事業委託業務報告書,3.1-1-3.1-261
- 3) Compton J.Tucker(1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 8:127-150
- 4) J.Xiao , Y.Shen , R.Tateishi and W.Bayaer (2002)Development of topsoil grain size index for

- monitoring desertification in arid land using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 27(12). 2411-2422
- 5) A. Rikimaru, P. S. Roy and S. Miyatate (2002) Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43(1):39-47
- 6) Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594
- 7) 西俣淳一・能美享・陰山建太郎・守屋博貴・メンヴッディー (2023) 衛星画像データを用いた機械学習による河道内地被覆分類の自動判読技術の開発. 建設コンサルタント業務・研究発表会論文集, 23:29-32.
- 8) 潘毅・森本健弘・一ノ瀬俊明 (2025) 機械学習 Samgeo を用いた高解像度衛星画像からの建物データの抽出. 日本地理学会発表要旨集, 2025s:17
- 9) 宇畑ウェブサイト「これからのデータ分析では常識! ? 複数のデータを融合させて使う”データフュージョン”とは<<https://sorabatake.jp/36045/>> (2025年10月8日確認)
- 10) JAXA Earth-graphy 地球観測衛星データサイト <<https://earth.jaxa.jp/ja/data/2562/index.html>> (2025年10月8日確認)