

# 衛星画像を用いた米軍基地内裸地の簡易的分類

金城孝一

## Monitoring Bare Land in U.S. Military Base using Satellite Images

Koichi KINJO

**要旨**：赤土汚染の三大流出源の一つである米軍基地は、広大かつ立ち入りが制限されているため、現地踏査を行うことが困難である。そのため、衛星画像を用いたリモートセンシング技術は、広域的なモニタリングが可能であり効果的である。本報ではランドサット衛星画像を用いて、米軍基地内の裸地状況を把握することを目的とした。画像解析の結果、米軍基地内の裸地は減少傾向にあることが推測された。

**Key words**：米軍基地，裸地，衛星画像，ランドサット

### I はじめに

降雨に伴い土壌が流出し、河川や海を濁らせ、その生態系に影響を及ぼす「赤土汚染」は、本県における環境問題の一つである。赤土汚染を引き起こす土壌侵食は、農地、開発事業および米軍基地に裸地が存在すると大きくなる。沖縄県環境保全課の調査<sup>1)</sup>によると、平成 23 年度の赤土等年間流出量は、農地からが 25.5 万 t (86%)、開発事業からが 2.5 万 t (8%)、米軍基地からが 1.1 万 t (4%) を占め、三大流出源の寄与は現在でも大きい。

防衛局が事業主である開発事業であれば、赤土条例に基づく通知により、裸地の規模および期間の把握が可能だが、通常、米軍基地には立ち入りが制限されているため、裸地がどこに、どれくらいの範囲で存在しているか把握するのは困難である。

本県における米軍基地は 23,098.4 ha で県土面積に占める割合は 10.1% と非常に大きい<sup>2)</sup>。そのため、広域的なモニタリングが可能である空中写真や衛星画像を用いたリモートセンシング技術は、効果的な調査手法である。衛星画像の多くは有料であるが、本報で用いたランドサット衛星画像は、米国メリーランド大学<sup>3)</sup>や産業技術総合研究所<sup>4)</sup>が提供しているホームページから無償ダウンロードが可能である。

本報ではランドサット衛星画像を用いて、米軍基地内の裸地状況を把握することを目的とした。

### II 方法

#### 1. 対象地域

対象地域を図 1 に示す。名護市、宜野座村、恩納村、金武町に位置する米軍基地、キャンプ・ハンセン、キャンプ・シュワブ、ギンバル訓練場、金武ブルー・ビーチ訓練場および金武レッド・ビーチ訓練場を対象とした。

北部訓練場などの他の米軍基地には、演習や開発等に起因する裸地がほとんど確認できなかったため対象外とした。また、ギンバル訓練場は、2011 年 7 月に返還されたため、返還以降に撮影された画像では対象から除外した。

#### 2. 衛星画像

画像解析には、対象地域に雲がかかっていないことを確認した 2001 年から 2015 年に撮影されたランドサット衛星画像データを用いた (表 1)。

#### 3. 分析方法

画像解析は、渡邊による「SuperMap による空中写真分析法」を参考にした<sup>5)</sup>。

##### (1) ツールカラー合成画像の作成

目で見る自然な色彩を再現するため、ランドサット衛星画像データの中から、可視光の赤、緑、青に相当するバンド (ランドサット 8 号ではバンド 2 から 4) を用い、ツールカラー合成画像を作成した (図 2)。

##### (2) インデックスカラーへの変換

簡易的に画像分類するため、RGB のツールカラー画



図 1. 解析対象とした米軍基地.

表1. 解析に用いたランドサット衛星画像

人工衛星名	撮影日
ランドサット7号	2001年7月16日
ランドサット7号	2010年3月19日
ランドサット8号	2014年1月1日
ランドサット8号	2015年1月4日



図 2. 2015 年に撮影されたキャンプ・ハンセンにおけるトゥルーカラー画像 (The source data was downloaded from AIST' s Landsat-8 Data Immediate Release Site, Japan. Landsat 8 data courtesy of U.S. Geological Survey).

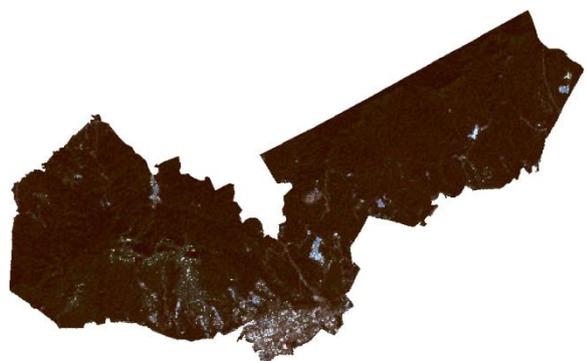


図 3. 2015 年に撮影されたキャンプ・ハンセンにおけるインデックスカラー画像 (The source data was downloaded from AIST' s Landsat-8 Data Immediate Release Site, Japan. Landsat 8 data courtesy of U.S. Geological Survey).

像を 256 色のカラーに近似するインデックスカラー画像へ変換した (図 3) .

(3) 色調をもとにした分類

元画像から裸地と考えられる色域を読み取り, 抽出する色域を指定し, 元画像全体に対して処理した. 抽出されたポリゴンと元画像を確認し, 明らかに裸地ではないと考えられる部分を除外し, 裸地を分類した.

### Ⅲ 結果

#### 1. 裸地面積の推移

図 4 に裸地の分布状況を, 表 2 に画像解析により求められた裸地面積の推移を示す.

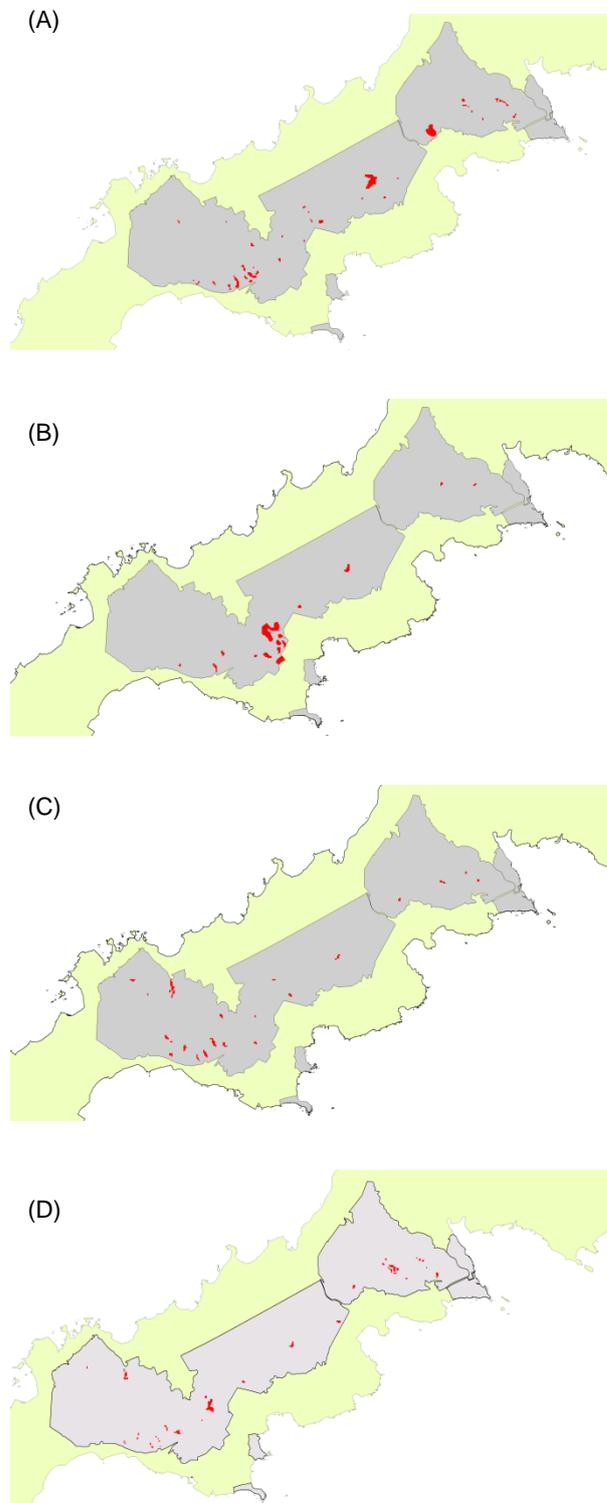


図 4. 衛星画像により米軍基地内に確認された裸地分布状況. A: 2001 年 7 月 16 日. B: 2010 年 3 月 19 日. C: 2014 年 1 月 1 日. D: 2015 年 1 月 4 日.

表2. 衛星画像により米軍基地内に確認された裸地面積.

撮影日	裸地面積 ha
2001年7月16日	79.0
2010年3月19日	79.3
2014年1月1日	42.8
2015年1月4日	45.3
2011年度 <sup>※)</sup>	92.1

※沖縄県環境保全課 (2012)<sup>1)</sup>による沖縄県内米軍基地の裸地面積調査結果であり、本報とは解析手法が異なる。

2001年には、キャンプ・ハンセン内およびキャンプ・シュワブ内に比較的大きな裸地が確認でき、それぞれ約 20 ha, 16 ha であった。全体としては 79.0 ha の裸地が確認できた。

2010年には、キャンプ・ハンセン内の金武ダム周辺に比較的大きな裸地が確認できた。この金武ダム周辺の裸地は大小違うものの、2015年まで確認できる。全体としては、79.3 ha の裸地が確認できた。

2014年には、キャンプ・ハンセン内の安富祖川(恩納村)上流に、開発事業と考えられる新たな裸地が確認できる。全体として 42.8 ha の裸地が確認できた。

2015年には、キャンプ・シュワブ内で裸地部分が増加しており、全体として 45.3 ha の裸地が確認できた。

## 2. 赤土等流出量の試算

米軍基地からの赤土等流出量は、比嘉ら<sup>6)</sup>および仲宗根ら<sup>7)</sup>の算定式を用いた。その算定式は以下のように示される。

$$\begin{aligned} & \text{年間流出量 (t/年)} \\ & = \text{年間降水量 (mm)} \times 10^{-3} \times \text{裸地面積 (ha)} \times 10^4 \\ & \times \text{流出率 (0.7)} \times \text{国頭マージでの無対策 SS 実測値} \\ & \quad (40\text{kg/m}^3) \times 10^{-3} \times \text{砂防ダムの保全係数 (0.6)} \end{aligned}$$

ここで、赤土等流出防止対策が施されている開発事業による裸地と、施されていない演習等の裸地との区別が困難であるため、画像解析により分類された裸地は、流出防止対策が設置されていない裸地とし、当該年度中は、土地被覆状況に変化がなく、1年間裸地であったと仮定した。また年間降水量は当該年度の降水量とした。その算出結果を表3に示す。

用いた赤土等流出量算定法では、赤土等流出量は裸地面積と降雨量に依存するため、調査期間の中で裸地

表3. 米軍基地からの赤土等流出量の推移。画像解析で把握した裸地の全てで赤土等流出防止対策が設置されていないと仮定した値。

	流出量 (t/年)	降水量 (mm/年)	裸地面積 (ha)
2001年度	27,964	2,107	79.0
2009年度	22,927	1,722	79.3
2013年度	12,378	1,724	42.8
2014年度	19,484	2,563	45.3

面積、降雨量ともに大きかった 2001 年において流出量は最も多く、27,964 t と見積もられ、また最近の平 2014 年では流出量が 19,484 t と試算された。

## IV 考察

本報ではランドサット衛星画像を用いることで、米軍基地内の裸地分布の把握を試みた。しかしランドサットは解像度が 30 m であるため(図 5-A)、その裸地が何に起因するものか(例えば、開発事業もしくは演習によるもの等)特定することは困難であり、また雲の影響を受けて解析が不十分になることがある。環境保全課<sup>1)</sup>が報告している 2011 年度の米軍基地から流出量 (1.1 万 t) と比較して流出量が大きくなっているのは、裸地の原因を特定できていないためである。図 5-B に示した QuickBird 衛星画像や Google Earth 画像のような高解像度衛星画像を解析に用いることで、より詳細に裸地を把握し、開発事業とそれ以外とを区別することが可能であるが、ランドサット配信画像に比べると当該地域の撮影頻度は低く、新規撮影すると非常に高価となる。また、空中写真(図 5-C)では雲の影響を受けずに詳細調査が可能であるが、撮影頻度が低く、新規撮影の際には米軍基地上空で飛行制限を受ける可能性が高い。解像度の点では劣るものの、裸地面積の把握が主たる目的であれば、アーカイブ量および撮影・配信頻度を考慮すると、ランドサット衛星画像を用いた裸地情報の把握は効果的と考えられる。

しかしながら、上述したとおりランドサット衛星画像では、裸地が開発現場によるものか演習によるものか正確には判断できない。例えば、金武ダム周辺に確認できる裸地は、金武ダムの拡張に伴う裸地であると推測できる。防衛局等の開発事業であれば、赤土条例に基づく通知がなされているため、通知内容を確認することや、年間で数枚の衛星画像を解析し、裸地の変化を追うことで、ランドサット衛星画像でもある程度、裸地の原因を推測

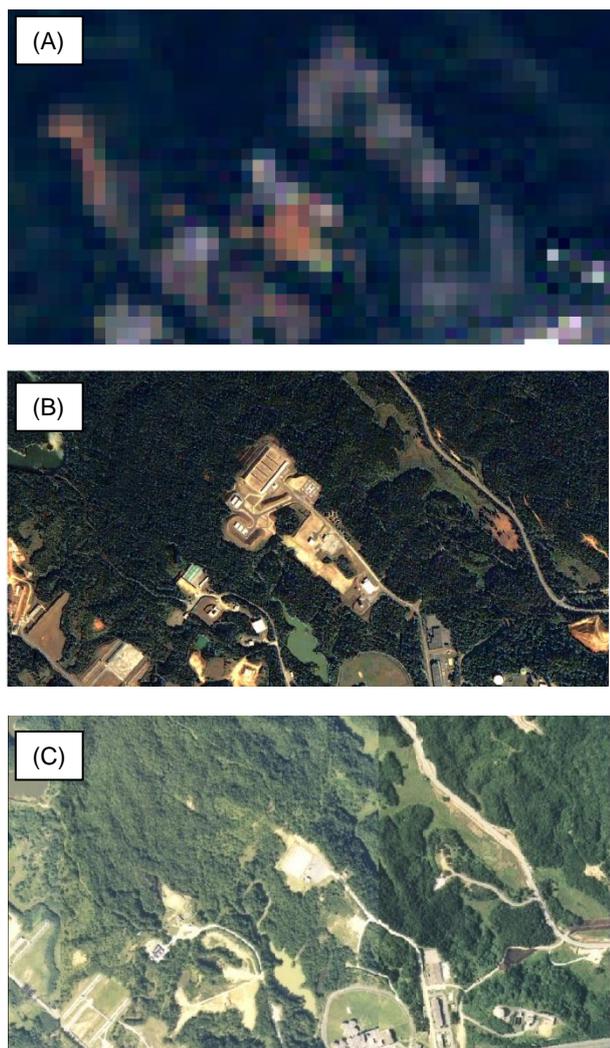


図 5. 米軍基地内の同地点におけるランドサット衛星画像 (A)、QuickBird 衛星画像 (B) および空中写真 (C)。ランドサット衛星画像は 2015 年 1 月 4 日撮影, QuickBird 衛星画像は 2011 年 1 月 16 日撮影, 空中写真は 1993 年撮影 (沖縄県土地対策課) されたものである。

することが可能だと考えられる。

本報では、ArcGIS や SuperMap などの GIS ソフトを用い、現地での実測 (スペクトル等の観測) を伴わない「教師なし分類」に近い手法により裸地を分類した。GIS ソフトで解析すると、面積計算など、解析後の処理が容易であるが、裸地の分類はフォトショップなどの画像処理ソフトでも可能である<sup>8)</sup>。今後も精度の高い解析手法および専門的な技術やソフトがなくとも、土地被覆状況を分類できる手法について検討していく。

## V 参考文献

- 1) 沖縄県環境保全課 (2012) 赤土等に係る環境保全目標設定調査 (赤土等流出源実態調査) 報告書. pp.204.
- 2) 沖縄県基地対策課 (2015) 沖縄の米軍及び自衛隊基地 (統計資料集). p.1.
- 3) University of Maryland, The Earth Science Data Interface. <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. (2015.9.15 閲覧)
- 4) LANDSAT-8 直接受信・即時公開サービス, 産業技術総合研究所. <http://landsat8.feogrid.org/l8/index.php/ja/>. (2015.9.15 閲覧)
- 5) GIS 沖縄研究室, Supermap による空中写真分析方法. <http://www.gis-okinawa.jp/SMap/Example4/index.html>. (2015.9.15 閲覧)
- 6) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰 (1995) 沖縄県における年間土砂流出量について. 沖縄県衛生環境研究所報, 29: 83-88.
- 7) 仲宗根一哉・比嘉榮三郎・満本裕彰・大見謝辰男 (1998) 沖縄県における赤土等年間流出量 (第 2 報) - 赤土等流出防止条例施行後の年間流出量の推算 - . 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 67-71.
- 8) 田中邦一・青島正和・山本哲司・磯部邦昭 (2007) 新版フォトショップによる衛星画像解析の基礎 - 手軽にできるリモートセンシング -, 第 4 章 画像解析. 古今書院, 63-86.