

Landsat-8衛星画像を用いた除染廃棄物の自動抽出

高山 直也¹・山崎 文雄²・リュウ ウェン³

¹千葉大学工学部都市環境システム学科（〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33）

E-mail:takayama@chiba-u.jp

²千葉大学大学院工学研究科教授（〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33）

E-mail:fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

³千葉大学大学院工学研究科助教（〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33）

E-mail:wen.liu@chiba-u.ac.jp

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震とその後の津波によって、福島第一原子力発電所で甚大な事故が発生し、放射性物質が広範囲に放出された。その結果、福島県では大規模な除染作業が行われ、復興に向けた取り組みが進められている。本研究ではリモートセンシング技術を用いて、除染によって生じた除染廃棄物の集積場所を自動的に抽出し、除染という観点から福島県内の復興状況の把握およびモニタリングを行うことを目的とする。Landsat-8衛星画像から教師付き分類を行うことで、一部の除染廃棄物に関して高い精度で抽出できる可能性が示唆された。

Key Words : Landsat-8 imagery, decontamination waste, classification, reconstruction monitoring

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震とその後の巨大津波によって東京電力(株)福島第一原子力発電所で甚大な事故が発生した。この事故によって放射性ヨウ素、セシウム137等の放射性物質が広範囲に放出された¹⁾。これに伴い福島第一原子力発電所から半径20km圏内が立ち入り禁止区域に指定され、2015年現在も非常に高いレベルの放射線量があるといった理由から、帰宅困難区域に指定されている区域が存在する²⁾。

福島第一原子力発電所事故以降、福島県では大規模な除染作業が行われた。放射能に汚染された土壌や廃棄物が除染廃棄物として福島県内の仮置場等を集められ、一時的に保管・管理されており³⁾、復興にむけた取り組みが行われている。こうした被災地の復興をモニタリングする手法の1つとして、リモートセンシング技術が挙げられる。

リモートセンシングとは、人工衛星や航空機などに搭載したセンサを用いて、陸域・海洋・大気中の様々な物質による太陽光の反射波や、物質そのものからの放射、センサから発射したマイクロ波の反射波などを計測することで、物体ごとの固有の特性を利用して識別を行うことである。人工衛星を利用したリモートセンシングでは、地球上の様々な現象を迅速かつ効率的に観測する手段として、地球規模の環境観測や遠隔地における災害

監視をはじめ、多岐にわたる分野で応用されている⁴⁾。

本研究では、このリモートセンシング技術を用い、除染作業によって生じた除染廃棄物を抽出し、除染という観点から福島県の復興状況のモニタリングを行う。具体的には、衛星画像を用いて、土地被覆分類により汚染土壌や廃棄物を保管するフレコンバックおよびこれを覆っている遮水シート（図-1）の自動抽出を試みる。解析には、空間分解能15mと30mのLandsat 8衛星画像を用い、分解能の違いによる抽出精度への影響についても検討を行う。

2. 対象地域と使用データ

除染等により発生した廃棄物のなかでも、特別な管理が必要なほど放射性物質により汚染されていると考えられる廃棄物が、福島県の一部地域で確認されている。国が責任をもってこれらの廃棄物の処理を進める地域のことを「汚染廃棄物対策地域」という⁵⁾。

今回は汚染廃棄物対策地域の中でも、抽出対象である廃棄物が多く確認できた大熊町、富岡町と楡葉町を対象地域として選定した。2015年5月2日撮影したLandsat 8衛星画像を入手し、図-2に示す対象地域に対して、教師付き土地被覆分類を行い、

対象地域内の除染廃棄物の自動抽出を試みる。

Landsat 8は、米国地質調査所(USGS)が運用する地球観測衛星で、観測の中心となるマルチスペクトルセンサ(OLI)と熱近赤外センサ(TIRS)の2つのセンサを搭載し、計11の観測バンドを所有している⁶⁾。本研究では、マルチスペクトル(MS)センサのバンド1~7を使用し、分解能15mの画像を作成する際にはバンド8(パンクロマティック)を使用しパンシャープ処理を行った。表-1にLandsat 8の観測バンドの概要を示す。

表-1 Landsat 8の観測バンド

バンド		波長帯 μm	分解能 m
No.	name		
1	Coastal Aerosol	0.43-0.45	30
2	Blue	0.45-0.51	
3	Green	0.53-0.59	
4	Red	0.64-0.67	
5	Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	
6	SWIR 1	1.57-1.65	
7	SWIR 2	2.11-2.29	
8	Panchromatic	0.50-0.68	15
9	Cirrus	1.36-1.38	30
10	Thermal Infrared(TIRS) 1	10.60-11.19	100
11	Thermal Infrared(TIRS) 2	11.50-12.51	



図-1 抽出対象とする3種の除染廃棄物

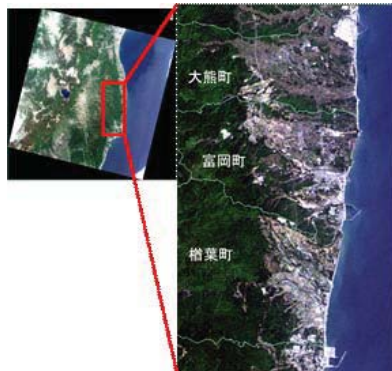


図-2 使用するLandsat 8衛星画像と対象地域

3. 目視による除染廃棄物の抽出

自動抽出の精度を検証するために、目視判読で参照データを作成した。Google Earthに公開された2015年6月1日にDigitalGlobe社が撮影した衛星画像をもとに、目視で除染廃棄物の場所を抽出し、図-3を作成した。対象地域上で保管されている除染廃棄物1つ当たりの面積は、小さいもので30m²、大きいもので6500m²とばらつきがあった。LandsatのMS画像の分解能は30mであるため、小さな除染廃棄物1つ1つを識別することが困難である。そこで本研究では、図-3のように、複数の除染廃棄物が密集している領域を1つの除染廃棄物と認定し、これを抽出することにする。

目視判読の結果、フレコンバック(黒)および遮水シート(青)は富岡町の沿岸部に密集していることが確認できた。また、遮水シート(黒)は榑葉町と大熊町の全域で確認することができたが、大熊町では確認することができなかった。このように地域によって除染廃棄物の保管方法に違いがあることが分かった。

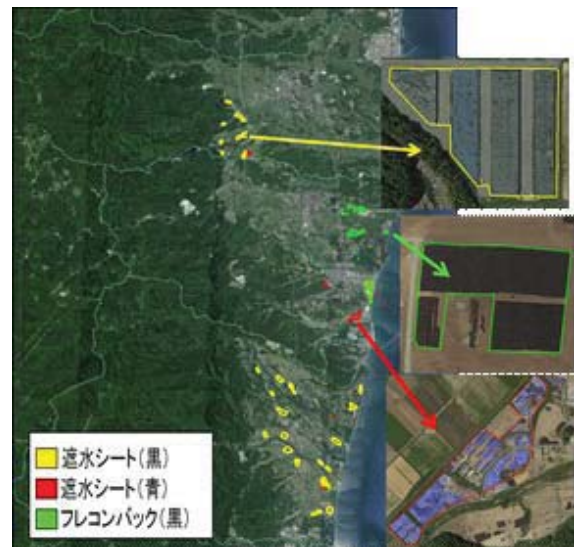


図-3 目視による除染廃棄物抽出の結果

4. 除染廃棄物の自動抽出

本研究では、赤色にバンド4、緑色にバンド3、青色にバンド2を割り当てて、True Color表示にした衛星画像をもとに、MSセンサの1~7バンドを用いた教師付き分類を行い、対象となる除染廃棄物の自動抽出を試みる。

教師付き分類とは、分類したい項目であることが確実な領域(教師データ)を選び出し、任意の画素がどの教師データとスペクトル特性が近いかを判断し、画像分類処理を行うことであり、土地被覆分類を行う手段として用いられる⁷⁾。本研究では、水域や植生、住宅地といった土地被覆のほか抽出対象である3つの除染廃棄物を分類する項目に

加え、最尤法による教師付きの分類を行うことで、除染廃棄物の自動抽出を試みた⁸⁾。

はじめに分類したいクラス数を選択し、分類クラスとして遮水シート(黒)、遮水シート(青)、廃棄物(黒)、住宅地(灰)、住宅地(白)、植生、土壌1~3、水域の計10つを設定し、1つのクラスに対して5か所の教師データ範囲を選定した。

図-4に図-3の範囲の目視による抽出結果と教師付き分類の結果を比較したものを、図-5に図-4の枠内を拡大した画像と教師つき分類による除染廃棄物の自動抽出の結果を比較したものを示す。図-5より、分解能30mに比べ、15mの衛星画像の方が目視により作成した参照データの領域を適切に抽出できていることがわかる。

5. 抽出精度の検証

本研究ではプロデューサ精度とユーザ精度を用いて抽出精度の評価を行う。プロデューサ精度は、誤抽出の有無に関わらず、どれだけ抽出することができたという割合を表す。ユーザ精度は自動抽出したピクセルのうち、どの程度正しく抽出できたかという正答率を表す。

はじめに、目視によって抽出した領域と教師付き分類によって自動抽出された領域を重ね合わせた図を作成し、過抽出および誤抽出となった領域のピクセル(A)、重なり合った領域のピクセル(B)、未抽出となった領域のピクセル(C)の数をそれぞれ解析ソフト Image Jによって算出した(図-6)。

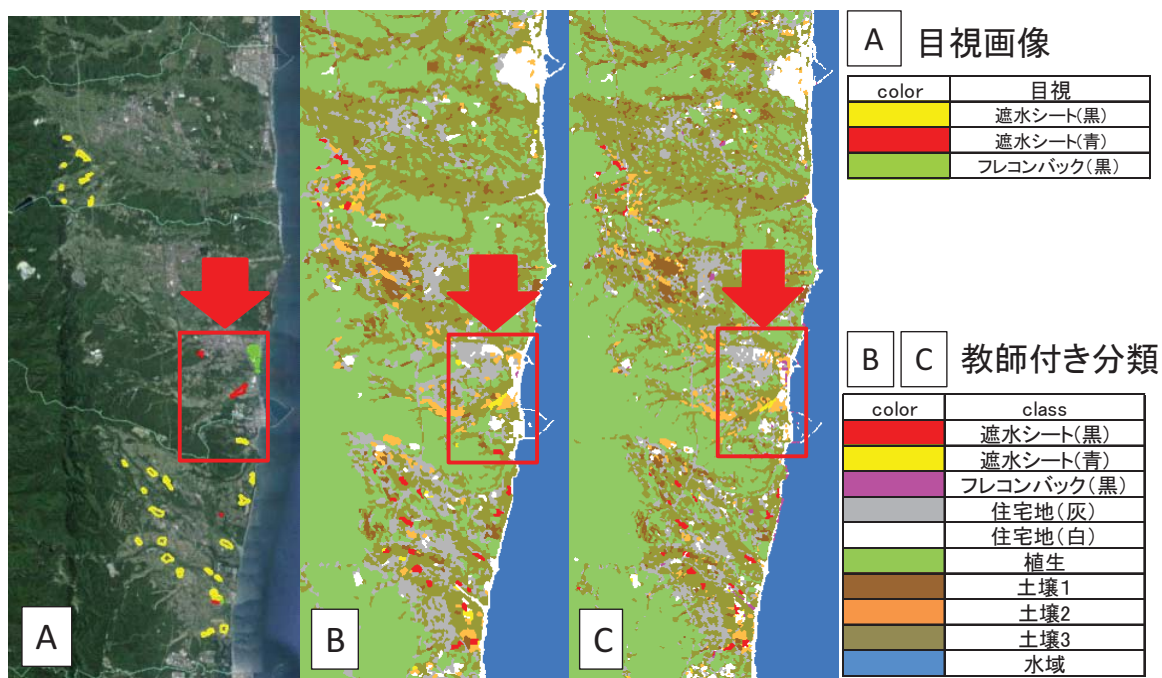


図-4 目視による抽出結果と教師付き分類の結果の比較 (A : 目視, B : 分解能 30m, C : 分解能 15m)

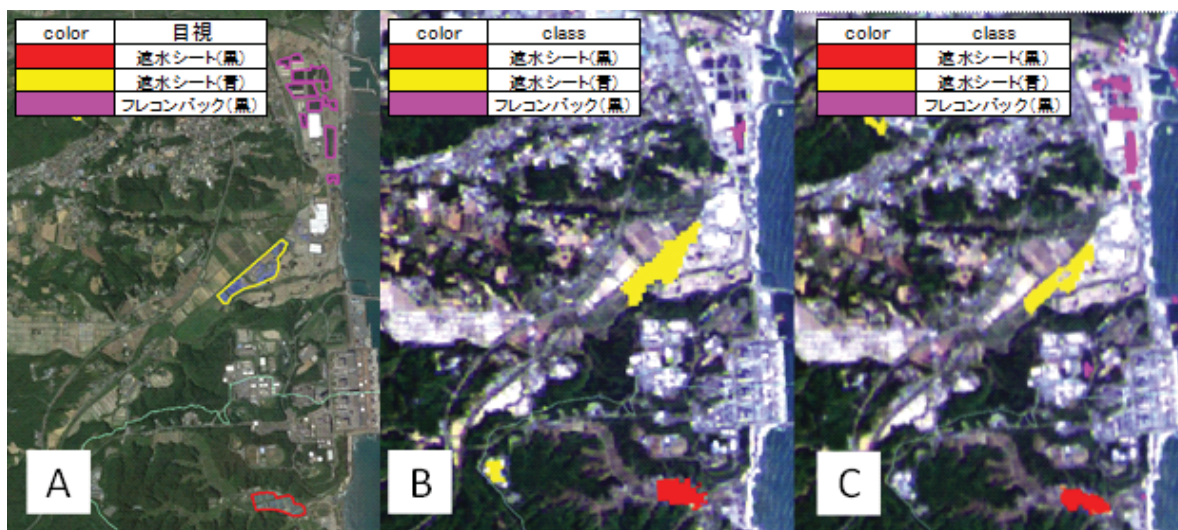


図-5 図-4の枠内を拡大した画像と教師付き分類による除染廃棄物抽出結果の比較 (A : 目視, B:分解能 30m, C:分解能 15m)

次にA~Cのピクセルの数よりプロデューサ精度とユーザ精度の算出を行った。抽出精度の結果を表-2に示す。遮水シート(黒)は、分解能30mの衛星画像でプロデューサ精度は88.0%、ユーザ精度は77.4%であった。これに対し、分解能15mの衛星画像はプロデューサ精度が93.1%、ユーザ精度が87.3%であり、分解能30mのものよりも高い精度で抽出されていることが分かる。

遮水シート(青)およびフレコンバック(黒)のユーザ精度は、分解能30mの画像のほうが高いのに対し、プロデューサ精度は分解能15mの画像の方が高いという結果になった。分解能30mの画像では、過抽出と誤抽出の割合は低い、未抽出の割合が高く、対象となる除染廃棄物をうまく抽出できないことが示された。また、分解能15mの画像では、未抽出の割合が減少しプロデューサ精度の向上につながったが、誤抽出の割合が増加したため、ユーザ精度は低くなるという結果を示した。

分解能15mの画像において、誤抽出の割合が増加した理由として、分解能の向上が挙げられる。これにより、除染廃棄物のスペクトル特性に似ている画素が抽出されるようになり、除染廃棄物と認識し、誤抽出したことが考えられる。このような現象は、分類クラスが少ない、もしくは教師データの選定方法に原因があると考えられる。したがって、教師つき分類において、分類クラス数および教師データの範囲の見直しを行い、再度抽出精度の検討をする必要があると考えられる。

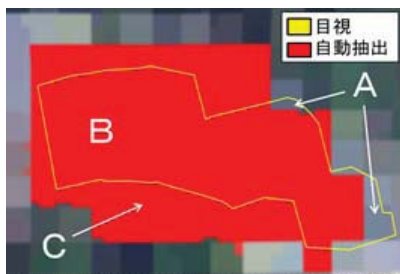


図-6 A~Cのピクセルの例

表-2 抽出精度の結果

(a) 分解能 30m

	プロデューサ精度	ユーザ精度
遮水シート(黒)	88.0%	77.4%
遮水シート(青)	38.0%	96.3%
フレコンバック(黒)	4.8%	51.2%

(b) 分解能 15m

	プロデューサ精度	ユーザ精度
遮水シート(黒)	93.1%	87.3%
遮水シート(青)	70.7%	84.1%
フレコンバック(黒)	47.7%	44.1%



プロデューサ精度: $B/(B+C)$
 ユーザ精度: $B/(A+B)$

6. まとめ

本研究では、福島県内に保管されている遮水シート(黒)、遮水シート(青)、フレコンバック(黒)を除染廃棄物とし、これらをLandsat 8衛星画像の教師つき分類により自動抽出を試みた。

遮水シート(黒)は、分解能30mの画像でも高い精度で抽出できるが、分解能15mの方がより高い精度で抽出できることがわかった。遮水シート(青)とフレコンバック(黒)は分解能15mの画像を使用した方が、プロデューサ精度は高くなるが、その分誤抽出も増えるためユーザ精度は低くなるという結果を示した。このような結果になった理由の一つとして、分類クラス数および教師データの選定方法に原因があると考えられる。

今後これらの見直しを行い、抽出精度を向上させることができるか、検討を要する。また、このような方法により高い精度で除染廃棄物を抽出することが可能となれば、衛星リモートセンシングを用いた、除染という観点からの復興モニタリングが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 東京電力(株) : 福島第一原子力発電所事故, 環境への影響,
<http://www.jacro.or.jp/data/02topic/fukushima/effect/index.html> (2015年12月10日閲覧)
- 2) 福島復興ステーション復興情報ポータルサイト: 避難地区の状況・被災者支援, 避難指示区域の状況,
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list271-840.html> (2015年12月10日閲覧)
- 3) 環境省: 除染土壌の保管にかかるガイドライン第2版4編, pp.19-33, 2013.
- 4) 国立研究開発法人 国立環境研究所: 衛星リモートセンシングによる地球環境観測,
<https://www.nies.go.jp/kanko/news/24/24-4/24-4-04.html> (2015年12月4日閲覧)
- 5) 環境省: 放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト, 対策地域内廃棄物について,
http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological_contaminated_waste/regional_measures/ (2015年12月10日閲覧)
- 6) USGS: Landsat Processing Deatails,
http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.phphttp (2015年12月4日閲覧)
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究報告書, 衛星データ利用マニュアル, リモートセンシングを使った解析方法, 教師つき分類と教師無し分類(土地被覆分類),
www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/eiseireport/no2/1-8.pdf (2015年12月10日閲覧)
- 8) 松田薫元, 山崎文雄, 鈴木賢太郎: 航空写真を用いた2012年つくば市竜巻による被害自動抽出の試み, 第56回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, pp.75-76, 2014.