

## A4 WorldView-2 衛星画像を用いた福島第一原発における汚染水タンクの抽出

### Extraction of contaminated water tanks in the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using WorldView-2 Data

○高山直也<sup>1</sup>・山崎文雄<sup>2</sup>・リュウ ウェン<sup>2</sup>  
Naoya Takayama, Fumio Yamazaki, Wen Liu

**Abstract** : Due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, many contaminated water tanks were installed in the plant. In this study, these tanks were extracted by supervised land-cover classification methods from a high-resolution WorldView-2 image. The supervised classifications were carried out both by the pixel-based and the object-based classifications. As the result of the analysis, the object-based method could extract the contaminated-water tanks with higher accuracy than the pixel-based method did.

**Keywords** : Fukushima No. 1 NPP, WorldView-2, supervised classification, object-based, contaminated water tank.

#### 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、福島県内や東日本各地で大規模な除染作業が行われ<sup>1)</sup>、福島第一原子力発電所では汚染水の流出阻止に向けた対策が行われている<sup>2)</sup>。こうした復興に向けた取り組みをモニタリングする手法の1つにリモートセンシングが挙げられる<sup>3)</sup>。本研究では、高解像度衛星 WorldView-2 による光学画像を用いて、教師付きの土地被覆分類を行い、福島第一原子力発電所内に保管している汚染水タンクの抽出を試みた。また、分類手法の違いによる抽出精度への影響についても検討した。

#### 2. 対象地域と使用画像

対象地域として福島第一原発内の汚染水タンクの密集区域を指定した。対象地域と抽出対象となる汚染水タンクを Fig. 1 に示す。2013年10月23日に発電所とその周辺を撮影した WorldView-2 衛星画像を使用した。使用した画像は Blue, Green, Red, NIR の4バンドと Pan バンドを所有している。これらにパンシャープ処理を施し、解像度 0.46m のマルチスペクトル画像を作成して解析に用いた。Table 1 に用いた WorldView-2 の観測バンドの概要を示す。

また、抽出精度の検証をするために、目視判読によって Fig. 2 に示す参照データを作成した。これを正解データとして使用する。

Table 1 WorldView-2 of the observed band

Band	Wavelength ( $\mu$ m)
Blue	0.45–0.51
Green	0.51–0.58
Red	0.63–0.69
NIR1	0.77–0.89
Panchromatic	0.45–0.80

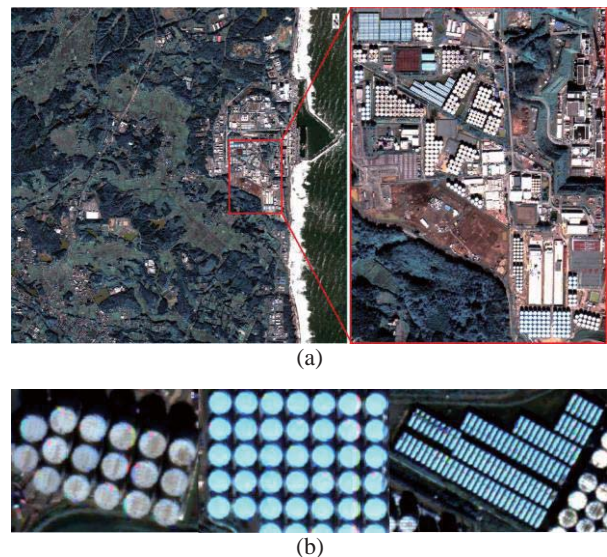


Fig. 1 True-color WorldView-2 image and the close-up of the study area in the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (a); Enlarged images of the different types of the contaminated water tanks (b).

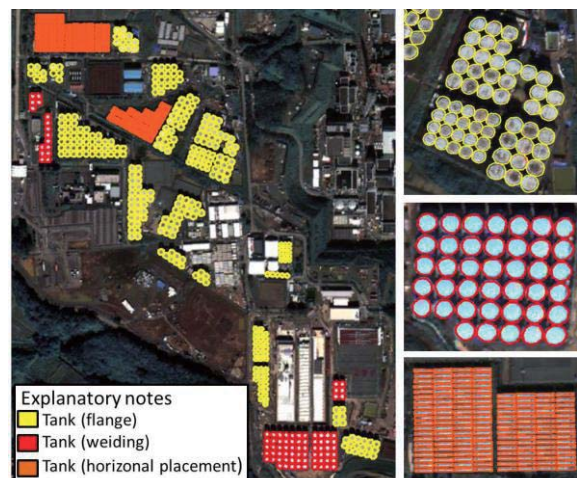


Fig. 2 Reference data of contaminated-water tanks created by visual interpretation.

<sup>1</sup>学生会員 千葉大学大学院 工学研究科 都市環境システムコース  
(所在地 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

(連絡先 Tel:043-290-3528 E-mail: takayama@chiba-u.jp)

<sup>2</sup>正会員 千葉大学大学院 工学研究科 都市環境システムコース

### 3. 汚染水タンクの自動抽出

汚染水タンクの自動抽出は解析ソフト ENVI を使用し、WorldView-2 衛星画像に対する教師付きの土地被覆分類を実施した。本研究では、植生や土壌といった土地被覆のほか、抽出対象である3種類の汚染水タンクを分類する項目に加えて、分類による自動抽出を試みた。

教師付き分類には、ピクセルベースとオブジェクトベースのものがある。ピクセルベースの分類は1つ1つのピクセルを分類するため、細かい誤分類やノイズが発生する恐れがある。これに対し、類似した特徴を持つピクセルの集合体を結合させて生成したオブジェクトを最小単位とするオブジェクトベースの分類では、細かい誤分類やノイズを低減することが可能である。また、オブジェクトベースの分類では、スペクトル特性の他にオブジェクトの大きさや形状といった様々な特徴量を用いて分類手法を決めることができ、精度の向上につながる可能性がある。今回はピクセルベースとオブジェクトベースによる教師付き土地被覆分類を行い、分類手法の違いによる抽出精度への影響について検討を行った。

本研究では、抽出率(Producer's Accuracy)と正答率(User's Accuracy)を用いて抽出精度の評価を行う<sup>4)</sup>。抽出率は、誤抽出の有無に関わらず、どれだけ対象物を抽出することができたかという割合を表す。正答率は、自動抽出した領域のうち正しく抽出できた割合を表す。Fig. 3 に抽出精度の算出方法を概念図で示す。

参照データ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、過抽出および誤抽出となった領域、重なり合った領域、未抽出となった領域のピクセル数をそれぞれ解析ソフト Image J によって算出し、抽出精度を求めた。

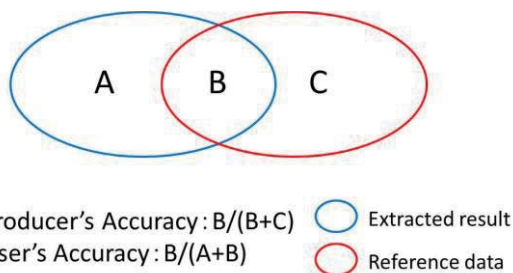


Fig. 3 Conceptual image for the accuracy calculation

### 4. オブジェクトベース分類による抽出

はじめに、オブジェクトを形成するために画像のセグメント化を行った。1つの汚染水タンクが1つのオブジェクトとして形成されるように Scale Level を 60, Merge Level を 95 に設定した。形成されたオブジェクトの例を Fig. 4 に示す。これより、鋼製円筒タンク(フランジ)に関しては、タンクが1つのオブジェクトとして形成されているが、鋼製円筒タンク(溶接)と鋼製横置タンクに関しては、タンクが複数のオブジェクトから形成されるという結果になった。3種類のタンクの大きさはそれぞれ異

なっており、最適なパラメータも異なるため、1つのタ

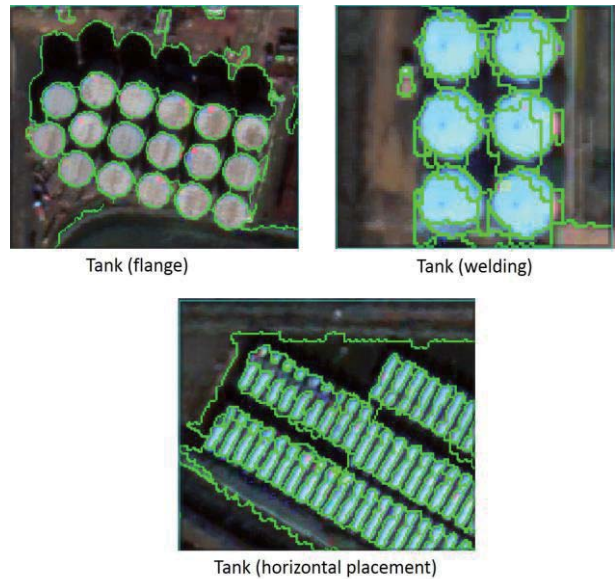


Fig. 4 Examples of the objects obtained by segmentation.

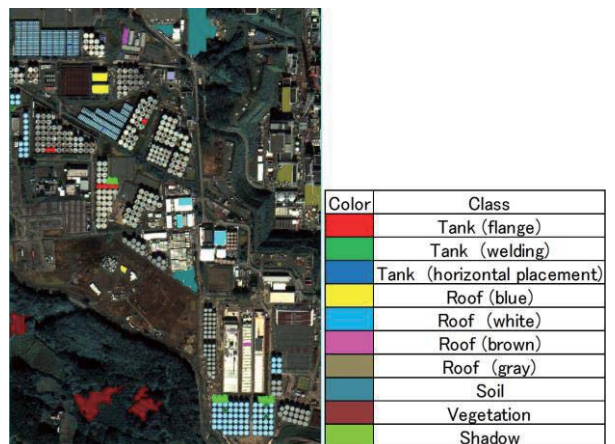


Fig. 5 Selected training data for all the classes including three types of tanks, six land-covers and shadow.

ンクが1つのオブジェクトとなるようにセグメント化を行うことは困難であると考えられる。

画像のセグメント化をおこなったのち、分類したいクラス数とトレーニングエリアの選定を行った。目視により分類クラスを鋼製円筒タンク(フランジ)、鋼製円筒タンク(溶接)、鋼製横置タンク、屋根(青、白、茶、灰)、植生、土壌、影の計10クラスとし、1つのクラスに対して3ヶ所のトレーニングエリアを選定した。選定した教師を Fig. 5 に示す。さらに、オブジェクトベースの分類では、スペクトル特性のほか Area (面積)、Length (長さ)、Roundness (円形度・丸み)といった特徴量を分類の判断基準に追加して分類を行った。

オブジェクトベースによる教師付き分類の結果を Fig. 6 に示す。図より、3種類のタンクに関してはおおむね分類できているが、一部の屋根は鋼製円筒タンク(フランジ)として、鋼製円筒タンク(溶接)の一部が鋼製横置タンクとして分類され、誤分類となっている。

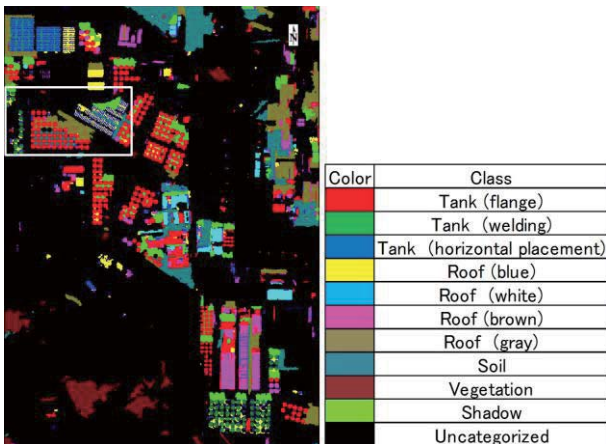


Fig. 6 The result of the object-based classification

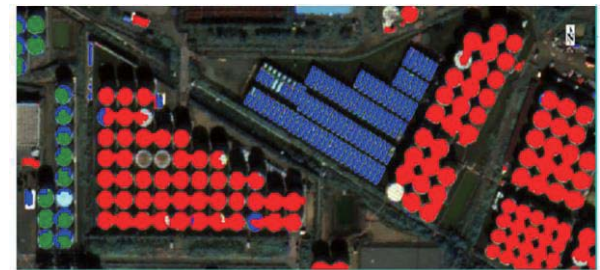
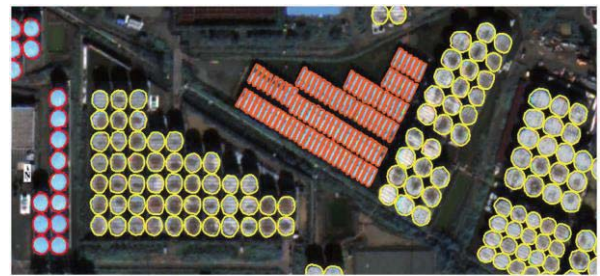
黒色に分類されている領域は、スペクトル特性とオブジェクトの持つ特徴量を考慮した結果、どのクラスにも該当せず未分類となった領域である。本研究の目的は汚染水タンクの抽出であり、セグメンテーションを行う際に1つのタンクが1つのオブジェクトから形成されるようにパラメータを調整している。そのため、土壌や植生などは複数の地物が1つのオブジェクトとして形成されることがある。こういったオブジェクトはスペクトル特性とオブジェクトの特徴量を考慮した結果、どの分類クラスにも該当せず、未分類となったと考えられる。未分類の領域が多いことから、今回用いたパラメータで土地被覆分類を行うのは困難であるといえる。

オブジェクトベース分類で抽出された汚染水タンクを Fig. 7 に示す。作成した参照データと比較して、抽出精度を Table 2 に示す。抽出率はどのタイプのタンクも 80% 程度の精度を得ることができたが、正答率は 70% を下回るタンクが存在した。これは画像のセグメント化の際に鋼製円筒タンク(溶接)が複数のオブジェクトにより形成されたことで、鋼製円筒タンク(溶接)を形成している小さなオブジェクトが鋼製横置タンクとして誤抽出されていることと、オブジェクトの特徴が似ている細長い形状を成している屋根などもタンクとして誤抽出していることが挙げられる。

このような誤分類を減らすためには、画像のセグメント化の際に1つのタンクが1つのオブジェクトとなるようにパラメータを設定することが重要であると考えられる。また、Area (面積), Length (長さ), Roundness (円形度・丸み) 以外の特徴量も加えて、このような誤分類を減らすことができるか今後検討する必要がある。

Table 2 The extraction accuracy of the contaminated water tanks by the object-based classification

Object-based classification	Producer's Accuracy	User's Accuracy
Tank (flange)	80.3%	77.8%
Tank (welding)	79.5%	97.8%
Tank (horizontal placement)	85.0%	68.1%



Color	Reference data	Color	Class
Yellow	Tank (flange)	Red	Tank (flange)
Red	Tank (welding)	Green	Tank (welding)
Blue	Tank (horizontal placement)	Blue	Tank (horizontal placement)

Fig. 7 Comparison of the extracted water tanks by the object-based classification and the reference data

## 5. ピクセルベース分類による抽出

ピクセル分類では、はじめに分類したいクラス数とトレーニングエリアの選定を行った。分類クラス数はオブジェクト分類と同様に鋼製円筒タンク(フランジ)、鋼製円筒タンク(溶接)、鋼製横置タンク、屋根(青、白、茶、灰)、植生、土壌、影の計 10 クラスとし、1つのクラスに対して3ヶ所のトレーニングエリアを選定した。トレーニングエリアは、オブジェクト分類の際に指定した領域を参考にし、手動で近似した領域を選定した。

教師付きピクセル分類の結果を Fig. 8 に示す。オブジェクト分類では未分類となる領域が発生していたが、ピクセル分類はピクセル単位で分類するため、未分類となる領域が存在しない。そのため、植生や土壌に関してもおおむね分類できており、オブジェクト分類より土地被覆が適切に分類できていると考えられる。

鋼製円筒タンク(溶接)と鋼製横置タンクに関してもある程度分類できたが、鋼製円筒タンク(フランジ)に関しては、ほとんどの領域が屋根(茶)として誤分類されている。これは鋼製円筒タンク(フランジ)と屋根(茶)のスペクトル特性が近似していることによる誤分類であると考えられる。オブジェクト分類では、オブジェクトの持つ特徴量を分類判断の項目に加えることができたが、ピクセル分類では、スペクトル特性のみで分類判断することになる。そのため、ピクセル分類では鋼製円筒タンク(フランジ)を抽出するのは困難である。

ピクセル分類による汚染水タンクの抽出結果を Fig. 9 に、抽出精度を Table 3 に示す。鋼製円筒タンク(フランジ)の抽出率は 21.2%、正答率は 50.7% となり、抽出精度はオブジェクト分類の結果を下回った。オブジェクト分類では、オブジェクトの持つ特徴量を分類判断の項目に

Table.3 The extraction accuracy of the contaminated water tanks by the pixel-based classification

Pixel-based classification	Producer's Accuracy	User's Accuracy
Tank (flange)	21.2%	50.7%
Tank (welding)	84.6%	96.2%
Tank (horizontal placement)	86.2%	71.8%

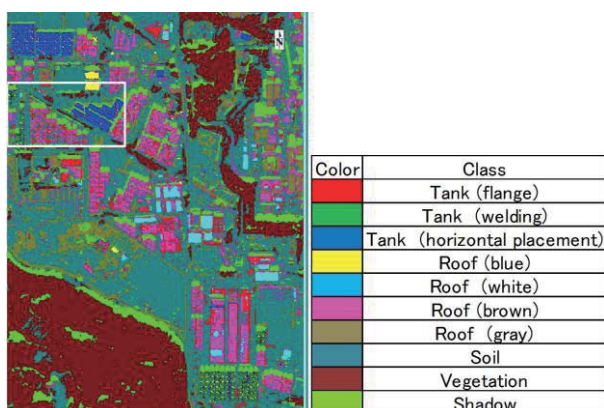
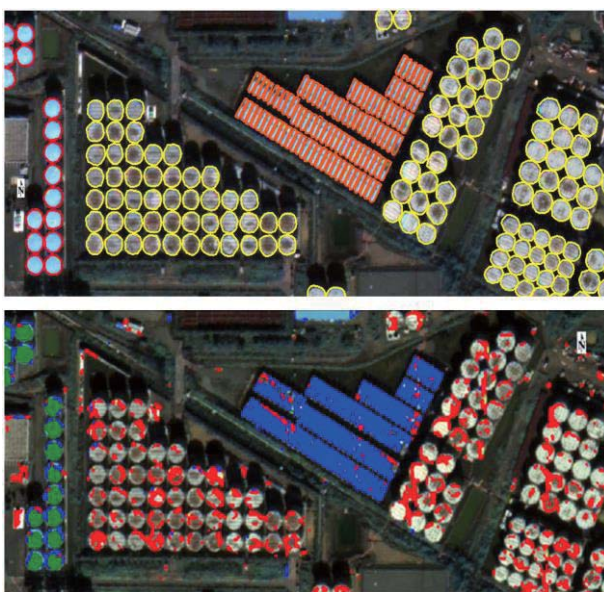


Fig.8 The results obtained by the pixel-based classification



Color	Reference data	Color	Class
Yellow	Tank (flange)	Red	Tank (flange)
Orange	Tank (welding)	Green	Tank (welding)
Blue	Tank (horizontal placement)	Blue	Tank (horizontal placement)

Fig.9 Comparison of the extraction contaminated water tanks by the pixel-based classification and the reference data

加えることができたが、ピクセル分類では、スペクトル特性のみで判断することになるため、スペクトル特性が似ているクラスが存在すると誤分類が多くなり、抽出精度の低下につながった。

鋼製円筒タンク(溶接)の抽出率は 84.6%、正答率は 96.2%となった。抽出率はオブジェクト分類の結果を上回ったが、正答率は若干下回るという結果になった。ピクセル分類では、ピクセル単位で分類を行うため、オブジェクト分類よりもタンクの領域をより抽出することが

でき、抽出率が向上したと考えられる。しかし、スペクトル特性のみで判断することで多少の誤抽出や誤分類が発生したため、正答率はオブジェクト分類を下回るという結果になった。

鋼製横置タンクの抽出率は 86.2%、正答率は 71.8%で、オブジェクト分類の結果をわずかに上回るという結果になった。オブジェクト分類では、1 つのタンクが複数のオブジェクトで形成されていることが原因で抽出されなかった領域が存在したが、ピクセル分類ではそのような領域も抽出できたことから、抽出精度が上回ったと考えられる。また、ピクセル分類でも、鋼製円筒タンク(溶接)の誤抽出しているが、オブジェクト分類の結果と比較すると誤抽出の領域が減少しており、これによって正答率が向上したと考えられる。

## 6. まとめ

本研究では 2013 年 10 月 23 日に福島第一原子力発電所とその周辺を撮影した WorldView-2 衛星画像に対し、ピクセルベースとオブジェクトベースの教師付き土地被覆分類を行い、3 種類の汚染水タンクの自動抽出を試みた。目視判読の結果と比較して、オブジェクトベース分類の方が高精度で抽出できたが、汚染水タンクが 1 つのオブジェクトとなるようなパラメータ設定ができない場合は、ピクセルベース分類の方が精度よく抽出できる結果を得た。

オブジェクトベース分類においては、セグメント化の際の適切なパラメータ設定や使用するオブジェクトの特徴量の把握を行い、再度抽出精度を向上させることを検討する必要がある。また、このような方法により高精度に自動抽出することが可能となれば、汚染水管理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) 環境省：放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト，放射性廃棄物に汚染された廃棄物について，[http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological\\_contaminated\\_waste/](http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological_contaminated_waste/) (2016 年 3 月 28 日閲覧)
- 2) 東京電力(株)：廃炉プロジェクト,実施作業と計画，汚染水対策の主な取り組み，<http://www.tepco.co.jp/decommission/planaction/waterprocessing/index-j.html>. (2016 年 3 月 28 日閲覧)
- 3) 鎌形哲稔，赤松幸生：東日本大震災の被災地の復興と自然再生に向けたモニタリング，写真測量とリモートセンシング 51(6), pp.340-341, 2013.
- 4) 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.