

2.5 海上事故による油流出被害

(1) 背景と目的

1997年1月2日、日本海島根県隠岐島沖でナホトカ号油流出事故が発生した。事故後の1月7日には、流された大量の重油が福井県坂井郡三国町（現・坂井市三国町）安島の越前加賀海岸国定公園に漂着し、これを皮切りに島根県から石川県にかけて広範囲に重油が漂着した。この他にも、様々な船籍のタンカーによる油流出事故が各地で発生している。そして、その影響は油類による直接的な海洋汚染のみならず、漂着する海岸域における植生や土壌の汚染被害、流出範囲に生息する動物への影響、漁業等への経済被害など極めて甚大であり、また広範囲に及ぶことが特徴である。

オイルフェンスの設置等油流出事故の対応にあたっては、初動の重要性が度々指摘される。また、流出規模が大きくなるほど、油回収等の措置には長期間を要する。衛星データは油流出の範囲を効率的に計測し、面的な広がり把握するのに有効なツールであり、定期的なモニタリングにも適している。さらに、海流や風向・風速のデータと合わせて解析することによって、漂着範囲の予測にも活用することができる。

(2) 現状の手法と問題点

(a) 船舶及び航空機による調査

沿岸域に石油コンビナート等を有する地方自治体では、地域防災計画の中で油流出事故等の海上災害への対策を定めている。地域防災計画では、流出範囲を把握する方法として、船舶及び航空機（ヘリコプター）による目視・撮影等が示されている。

油類の流出を伴うタンカー等の海上事故では火災の危険があるため、事故発生時の応急対策においては二次災害の防止が重要な課題となる。この点で、船舶による調査には自ずと限界があり、また航空機による上空からの調査についても、高度や進入範囲等ある程度の制約を受けることが予想される。

なお、中央防災会議が作成する防災基本計画（海上災害対策編）¹⁾では、「必要に応じ、画像情報の利用による被害規模の把握を行う」とされている。

(b) 海岸における現地調査・報告

海岸部では、漂着する油塊等について現地確認を行うことになるが、実際には漁業者や地域住民、ボランティアからの報告による部分が大きいと想定される。いずれにせよ、地域による情報の密度のばらつき、マンパワーへの依存といった問題を含んでいる。

(3) 衛星データを用いた手法の解説

(a) 概要

衛星データを利用した油汚染領域の特定は、広い範囲を同時に観測ができるとともに、様々な波長でのセンシングにより、油汚染領域を抽出することが可能となる。さらに、周期的に観測される衛星データを使用することで、時系列的な変化が把握できる。

油層は、日射に対する吸収率が高いことや、レーダによる計測では、散乱を弱めるといった特性がある。そこで、このレーダ計測の特徴を活かし、油汚染領域の範囲を特定することができる。レ

ーダで撮影した画像（以降、SAR 画像と言う）では、油汚染領域の散乱が小さいことから、画像上、暗く表示される。この特徴を活かし、様々な解析手法で、油汚染領域を抽出することができる。

可視光のセンサで撮影した画像から、油汚染領域の抽出を試みる場合、油層の反射率は、油組成物、海面上の油層の厚み、衛星のポインティング角度に依存することに留意する必要がある。衛星のポインティング角度(θ)による油の反射率の影響は、 θ が大きければ暗く、小さければ明るく見える。また、油組成物や油層の厚さが、反射率に与える影響もあり、シーンと呼ばれる薄い油層 ($<0.1\mu\text{m}$) の場合は、輝度が高くなり、ムースと呼ばれる状態 ($<0.7\mu\text{m}$) は、油と水の混合により赤褐色で表示される。重油 ($0.6\text{--}0.7\mu\text{m}$) は、褐色で表示されることが分かっている (Berry, 1995)²⁾。日本に輸入された石油のサンプルの肉眼による観察結果からも、重油や中質油（アラビア石油等）は、黒や褐色、軽油は薄い黄色であることを確認している (Arvelyna & Oshima, 2006)³⁾。このように、油組成物や油層の厚さが反射率に影響を及ぼすことから、可視光の光学センサを用いて、油汚染領域が抽出できる可能性がある。

(b) 解説

ここでは、光学画像と SAR 画像を利用した方法を解説する。油汚染領域は、時間経過とともに変化する上、油の組成も変化する。定期的に衛星データによる観測や現地調査を実施し、精度を向上させる必要がある。

(ア) 光学画像：オルソ処理

衛星画像から抽出した油汚染領域の正確な範囲を特定するため、オルソ処理を施す。オルソ処理は、地図や現地調査により設定した基準点を利用して処理を施すため、近くの陸域において、基準点を設定し、処理する。また、衛星データの種類によっては、オルソ処理されたプロダクトが提供されている場合もあることから、オルソ処理済みのデータを購入しても良い。

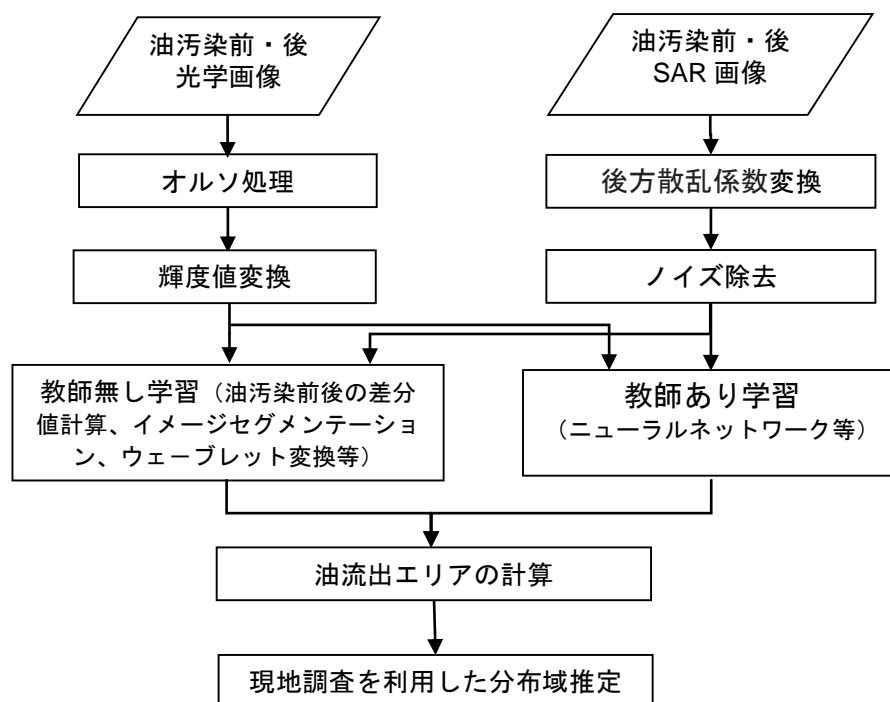


図-2.1 光学画像と SAR 画像による油汚染領域の分布域推定方法

(イ)光学画像：輝度値変換

光学画像の取得データであるDN (Digital Number) は、DNのままでも教師無し学習や教師あり学習を用いて、油流出エリアを特定することができるが、油の組成や厚さが入射光の反射に与える影響を把握するためには、輝度値や反射率に変換した方が良い。DNから輝度値や反射率に変換する計算式は、各衛星販売会社に問合せを確認すること。

(ウ)SAR画像：後方散乱係数変換

SAR画像の取得データであるDNは、DNのままでも教師無し学習や教師あり学習を用いて、油流出エリアを特定することができるが、油の組成や厚さがレーダの散乱に与える影響を把握するためには、後方散乱係数に変換した方が良い。DNから後方散乱係数に変換する計算式は、センサによって異なることから確認し、処理すること。以下は、ALOS PALSARデータのDNから、後方散乱係数変換に変換する式である。変換式や校正係数は、プロダクトの処理レベルや、プロダクトの作成日によって異なる場合があることから、注意すること。

$$\sigma^0 = 10 \log_{10}(DN^2) + CF$$

σ^0 : 後方散乱係数 (dB)

CF : 校正係数

(エ)SAR画像：ノイズ除去

SAR画像は、ゴマ塩状のランダムな濃度のゆらぎ（以降、スペckルノイズという）があり、油流出江エリアを特定するためには、スペckルノイズを除去することが望ましい。スペckルノイズを除去する方法は、マルチルック処理やフィルターによるノイズ軽減処理がある。

(オ)共通：教師無し学習

油流出エリアを特定する方法として、教師を使用せず抽出する「教師無し学習」がある。教師無し学習の方法としては、油汚染前後のデータから差分を計算する方法や、教師を利用しない分類処理では分類結果に対して油流出エリアを特定する方法、ウェーブレット変換を用いて油流出エリアを特定する方法がある。

1997年のナホトカ号重油流出事故を対象に、SAR画像を利用して油流出エリアを特定した事例を図-2.2に示す。図-2.2（左）では、油が流出している範囲が黒色で表示されており、後方散乱係数の値が低いことが分かる。図-2.2（右）では、教師無し学習で特定された油流出範囲が黒色で表示されており、図-2.2（左）の判読結果および図-2.3の発表資料と概ね一致する。

(カ)共通：教師あり学習

油流出エリアを特定する方法として、教師を使用して抽出する「教師あり学習」がある。教師あり学習は、油流出エリアの教師を設定し、同じ特徴を有したエリアを抽出する方法であり、同じ特徴を有している画素の特定に、ニューラルネットワーク等を利用した方法がある。

(キ)共通：油流出エリアの計算

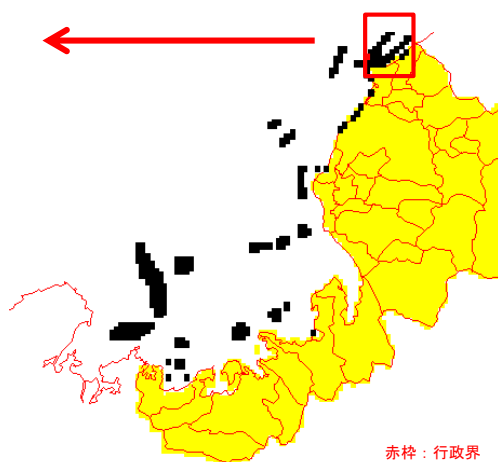
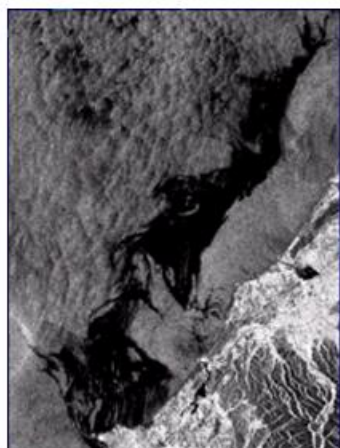
(オ) や (カ) の処理結果をもとに、油流出エリアを特定する。

(ク)共通：現地調査を利用した分布域推定

衛星データを利用した油汚染領域の抽出は、油層の組成物や厚さによって、影響を受けることから、海上の油膜をサンプル的に採取し、反射率や後方散乱を測定し、精度の向上に役立てる。

(c) 使用する衛星データの条件

SAR画像：風速 8m/s 以内の画像を利用する必要があり、衛星画像の撮影日の風速を確認した上で、衛星画像を整備すること。



赤枠：行政界

図-2.2 RADARSAT SAR 画像(1997年1月12日)を利用した流出油分布図事故の解析結果(Arvelyna and Oshima, 2002)⁴⁾ 図-2.3 1月12日ナホトカ号油流出流出油分布図(福井県環境科学センター)⁵⁾

(d) その他

SAR 画像を利用した油流出エリアの誤差要因としては、港などの風速が弱い地域 (<3m/s) や、雨が降っている地域は、誤抽出されることから、処理対象外とするマスキング処理を施す必要がある。

【参考：光学センサにおける油汚染の観測事例】

秋田県男鹿半島における油の漏出に対して、Terra/ASTER を観測した事例を図-2.4 に示す。



©METI/ERSDAC

○：油が漏出している範囲

図-2.4 Terra/ASTER における強調した画像 (対象地域：秋田県男鹿半島周辺)

【参考文献】

- 1) 内閣府：防災基本計画，2015，<http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html> (2015.7)
- 2) Berry, J. L., 1995. Detecting and evaluating oil slicks on the sea surface. Space Congress on Remote Sensing for Oil Exploration and Environment, 23- 24 May, Bremen, Germany, pp. 90-110.
- 3) Yessy Arvelyna, Masaki Oshima, Spectral Reflectance Analysis of Oil Seepage using ASTER Image Data and Laboratory Experiment, ISRS-PORSEC, 2006.
- 4) Yessy Arvelyna, Masaki Oshima, Auto Detection of Oil Slick in SAR Image Data, PORSEC 2002
- 5) <http://www.erc.pref.fukui.jp/news/1997/oilmap/oilmain.htm>