

リモートセンシングを用いた浮遊ゴミ分布推定手法の開発と その大阪湾への適用

村上 和 男*・浅 井 正**

1. はじめに

リモートセンシングは広領域の情報を同時に捉えられるため、海域全体の特性を把握する上で非常に有効な観測手法である。本研究では、人工衛星による画像データを利用して海域上の浮遊ゴミの集積状況を推定する手法を開発し、大阪湾を対象とした現地観測資料を用いてその適用性を検討している。

海域上の浮遊ゴミの回収業務は航路の保全を目的としており、船舶の航行を安全かつ迅速に行う上で重要な役割を担っている。とくに、大阪湾のような閉鎖性海域では海水交換性が悪いため、滞留した浮遊ゴミを迅速に回収して航路を確保する必要がある。これまで経験的に与えられていた浮遊物の集積地点を人工衛星を用いて把握することができれば、ゴミ回収船の運用の効率化を図ることができ、作業能率の向上が期待される。

一般に、海域上の浮遊物は潮目に集積する性質があるといわれており、潮目の形成地点と浮遊物の分布とは高い相関をもつと予測される。潮目とは性質の異なる水域間の境界線を意味しており、発生要因から潮汐フロントや河口フロント等に分類される。浮遊物の集積と潮目の形成との関係をお大阪湾の現地観測資料から検討し、周辺の気象条件等から考察を加えた。えられた知見をもとに海域を特徴づける要因を抽出し、それらの特性値をリモートセンシングを用いて与えることにより海域の区分を行った。この結果をもとに潮目の形成地点を把握し、浮遊ゴミの集積場所を推定するモデルを構築した。

2. 対象海域と解析データ

(1) 大阪湾の浮遊ゴミ回収

運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所では大阪湾全体を対象とした浮遊ゴミの回収業務を継続的に実施している。本研究では浮遊ゴミ回収作業船の作業領域を対象に解析を行った。図-1に解析の対象海域を示す。図中のA～Oの各領域は回収地点の区分分けに対応している。回収船の作業時には、航行記録として浮遊ゴミの集積地

点やその種類・量・分布状況を作業時刻とともに記録することになっている。また、潮目の発生状況や風浪の状態についても船上から目視観測を行い、記録している。なお、図中の破線は-20 mの等水深線を表している。

本研究では、浮遊ゴミ回収作業船のこまの1991年4月から1993年3月の2年間の航行記録(出動回数308回)を対象としてシートゥールズデータとして用いることにより海域の特性の検討や推定値の検証を行った。

(2) リモートセンシングデータ

リモートセンシングデータとして人工衛星NOAAのAVHRRデータを使用し、ch.1(可視)、2(近赤外)およびMCSST(大気補正済海面温度)の3つのチャンネルを対象として解析を行った。なお、解析には日本気象協会から提供されている幾何補正済みの1.5 kmメッシュデータ(たとえば、白沢・斉藤(1992))を使用し、特別な幾何補正は行っていない。回収作業が行われた期間を対象として、雲量が少なく鮮明な画像であること、および前後の期間の画像がえられていることを基準にシーンの選定を行った。解析対象ケースは表-1に示すとおりである。

今回の解析では、対象とする領域が広く、LANDSAT等では全域を1つの軌道でカバーできない。このため、NOAAの画像データを用いることとした。また、NOAA

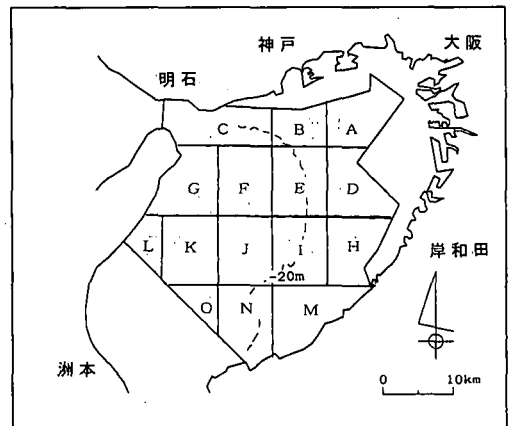


図-1 解析対象海域

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部環境評価研究室長

** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部環境評価研究室

表-1 解析対象ケース

巡航年月日	画質	雲
1991年7月24日	○	無
1991年9月3日	△	無
1992年5月21日	○	無
1992年8月27日	△	少量

※ 画質について (○:良好, △:やや悪い, ×:悪い)

の場合、2つの衛星が1日2回程度周回を行っており、LANDSAT等と比べて撮影頻度が高い。実際に浮遊ゴミの回収業務に使用する場合には衛星画像データがでる限り頻繁に取得できることが望ましく、この点からもNOAAの画像データを用いた方が都合がよい。

3. 潮目の分布特性と浮遊物の集積の関係

(1) 浮遊ゴミの空間分布と潮目との関係

図-2は、回収船のこれまでの航行記録をもとに各出動時の浮遊物の集積地点を図-1中の領域区分にしたがってとりまとめたものである。浮遊ゴミは領域EまたはFに集積する傾向があり、両領域での回収回数(出動回数のうち、ゴミの集積を発見し回収を行った回数)を合わせると全体の70%程度になる。

大阪湾の東側の湾奥部は水深-20mでほぼ一定であり、西側の外湾部で水深が急激に深くなっている。このため、図-1中の領域Eを南北にのびる水深-20mの等水深線を境目として海底に段差が形成されており、この等水深線に沿った潮汐フロントが湾奥部に発達しやすいことが柳(1990)などにより報告されている。回収作業時の航跡を航行記録で確認すると領域EおよびFを南北に進んでいることが多く、浮遊ゴミが潮汐フロント上に集積していると推測される。一般に、湾奥部の海水は外湾部と比べて停滞性が強く、水温が高くなったり、水が濁ったりしやすい。このため、潮汐フロントを境に水温や海色が大きく変化していることが多く、これらのデータを用いて潮目の判断を行うこととした。

浮遊ゴミの集積地点は水深-20mの等深線と厳密には一致せず、出動時によって東西にずれている。また、その形状も東に凸の場合と西に凸の場合がみられる。これは、潮流等の流入の影響により浮遊ゴミまたはフロントが全体的に移動するためである。大阪湾では、明石海峡や紀淡海峡から多量の海水の流入があり、潮流の影響を無視できない。また、大阪湾には多くの河川が注ぎ込んでおり、降水時の淡水および土砂の流入もフロントの形成に何らかの影響を与えていると考えられる。

(2) 潮目の形成と浮遊ゴミの集積との関係

図-3は、潮目の形成と浮遊ゴミの発生との関係を円グラフを用いて季節ごとに表示したものである。浮遊ゴ

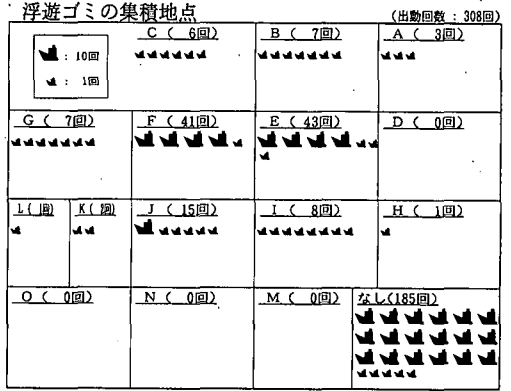


図-2 浮遊ゴミ集積地点の空間分布

ミが発生した場合には、ほとんどのケースで潮目が形成されている。また、潮目が確認されたすべての場合で、潮目の形成地点と浮遊ゴミの集積地点は一致していた。ただし、潮目が2ヶ所に形成されときには、浮遊ゴミの集積が一方でしかみられないこともあった。潮目の形成地点は湾奥に位置することが多く、そこで浮遊ゴミが生成されるとは考えにくい。したがって、他の地点で発生した浮遊ゴミが何らかの機構により運搬され、最終的に潮目へ集積するものと考えられる。

(3) 気象条件と潮目の形成との関係

図-4は、大阪の月間降水量と浮遊ゴミの回収量を比較して示したものである。回収量は6月、9月の長雨期に増大し、11月～1月の渇水期には無視できるほど小さくなる。両者の変動特性は非常によく一致しており、高い相関をもっている。このことは、降水時の河川からの流入水に含まれている多量の浮遊物が大阪湾内の浮遊ゴミの主な供給源の一つとなっていることを示している。

図-3より、浮遊ゴミの回収回数は夏季に多く、冬季と比べて5倍以上になっている。この結果は、図-4で大阪湾の降水量が夏季に最大となることと一致し、浮遊ゴミの供給が降水と強い関係をもっていることが確認できる。これらより、浮遊ゴミは主として降水時に河川から湾内へ供給されていると考えられる。河口から潮汐フロントへの運搬機構としては、湾奥部に形成される鉛直循環流や河川からの淡水流入と海水との間に形成される河口フロントの移動にともなうものが考えられ、浮遊ゴミの集積地点は、潮汐フロントや河口フロントのような潮目を用いて代表すればよいことがわかる。

4. 潮目分布の推定

(1) クラスタ分析を用いた潮目の推定

潮目の推定を行うために対象領域内の衛星画像データに対してクラスタ分析を行い、海域をその特性にもと

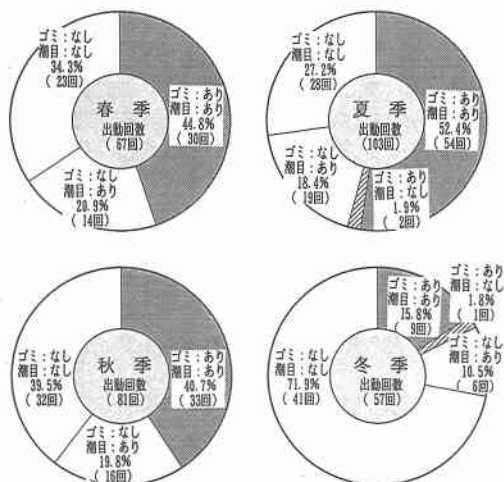


図-3 浮遊ゴミの集積と潮目の形成の関係

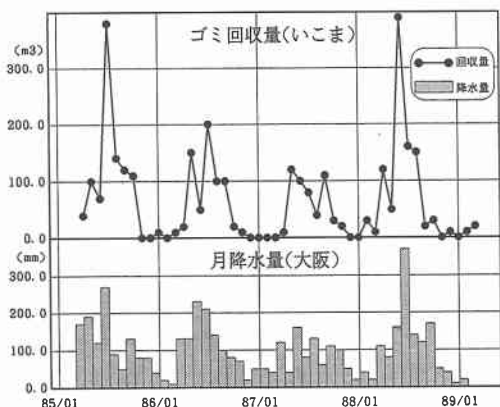


図-4 浮遊ゴミの回収量と降水量の関係

づいて区分した。クラスターの分割数は種々変化させて解析を行い、もっともよく海域の特性を説明できるように分割数を選んだ。そして、このとき推定される各クラスターの間の境界線を、潮目として定義した。

計算に先立って、画像データに次のような前処理を行った。対象領域の抽出は大阪湾の形にあらかじめ切り出しておいたマスクを用いて実施した。雲域の抽出は可視や近赤外の画像を参照しながら目視により実施した。データの平滑化にはメディアン法を用いることとし、対象画素周辺の3×3の領域を対象として計算を行った。

クラスター分析はMCSSTの画像データだけを用いた場合と可視、近赤外を含めた3chをすべて使用した場合の2とおりについて実施し、それぞれのチャンネルが推定結果に与える影響について検討した。一般に、MCSSTは水温、可視および近赤外は海色による影響を検討する目的で用いられることが多い(たとえば、日本

写真測量学会(1986))。また、クラスターの判別は最長距離法と最短距離法の2種類の方法で行うこととし、判別手法による推定値の特性の変化について検討した。なお、解析には、非類似度としてユークリッド平方距離を用いている。

(2) 各チャンネルが海域区分に与える影響について

図-5(a)~(d)は、それぞれMCSSTの画像データだけを用いて最長距離法によるクラスター分析を実施した場合の海域区分結果を示している。対象シーンおよびクラスターの分割数はそれぞれ図中に示すとおりである。太線で囲まれた部分が解析の対象領域を示しており、領域中の分割を海域区分結果にもとづいて行っている。図中、極太の曲線は回収船による潮目の観測値を示している。

大阪湾の湾奥部と外湾部に大きなクラスターがそれぞれ形成されていることがどの図からも確認できる。それぞれの図で、この2つのクラスターの境界線の近傍に潮目が観測されており、クラスターの境界線を用いて潮目を代表させることの妥当性が確認された。この2つのクラスターは、潮汐フロントにより湾奥部と外湾部に区分される領域をそれぞれ表していると考えられる。

図-5(a)~(c)では2つの大きなクラスターの間に南北に細長くのびるクラスターが判別されている。これは、潮目周辺の不安定性質を示す領域を1つの独立したクラスターとして判別した結果と考えられる。また、他にも図-5(a)や(c)のように関西国際空港南部等の陸域と海域との境目で小さなクラスターが散在して判別される場合もあった。これらは、陸域の影響により沖側と海域の性質が異なっている領域を表していると思われるが、画像の中に陸域からの放射の影響が入っている可能性もあり、取り扱いには注意が必要である。図-5(d)では大阪湾の南端に小さなクラスターが判別されているが、これは雲域を表している。

図-6(a)~(d)は、それぞれ可視や近赤外まで含めた3chすべての画像データを用いてクラスター分析を実施した場合の海域区分結果を示している。そのほかの計算条件については図-5と同様である。

図-5と図-6を比較すると、MCSSTだけを用いた海域区分結果の方が全体的に観測値とよく一致している。図-6(c)や(d)にみられるように、可視や近赤外も用いた区分結果では陸域との境界付近で海域の特性が区分されることが多く、観測値の傾向と一致しない。このため、図-6(d)の場合では湾奥部でのクラスター分割をえるために分割数を多くする必要があった。通常、解析に使用するチャンネル数を多くすると判別のための情報量が増加するため解析の精度が向上するが、今回の解析ではこのような傾向はみられない。これは、可視や近赤外

の画像データが潮目の判別に与える寄与が非常に小さく、相関の小さなデータであることを示している。図-8は1991年5月21日撮影の画像データに対して、各チャンネルの輝度値を対象領域内についてヒストグラムを用いて示している。MCSSTの画像データは輝度値は30程度(≒6℃:水温)と比較的大きな幅で変動している。そして、輝度値が135(=16℃)付近と145(=18℃)付近の2ヶ所にピークをもち、これらを中心とした2つの領域にそれぞれ区分されると考えられる。これに対して可視および近赤外の両チャンネルでは、輝度値の変動幅が3~4(≒0.6~0.8%:アルベド)程度であり、ほとんど変動がみられない。また、輝度値の分布を平面的にみる

と、陸域との境界付近でのみ輝度値の変動が認められる。したがって、潮目の前後での海色の変化は小さく、センサーの測定精度と比べて無視できる程度であると考えられる。

図-5(c)では、潮目の観測値が海域区分結果と比べて全体的に明石海峡の方向に移動している。この一因として、衛星画像の撮影時刻が回収船の作業時間帯と一致しないために、潮流等によって潮目が移動していることが考えられる。大阪湾では半日潮による流速が大きいため、潮目の時間変化を無視できない。また、衛星画像データは気象条件による影響を受けやすく、雲量の多いときには使用できない欠点がある。このため数日前の画像デー

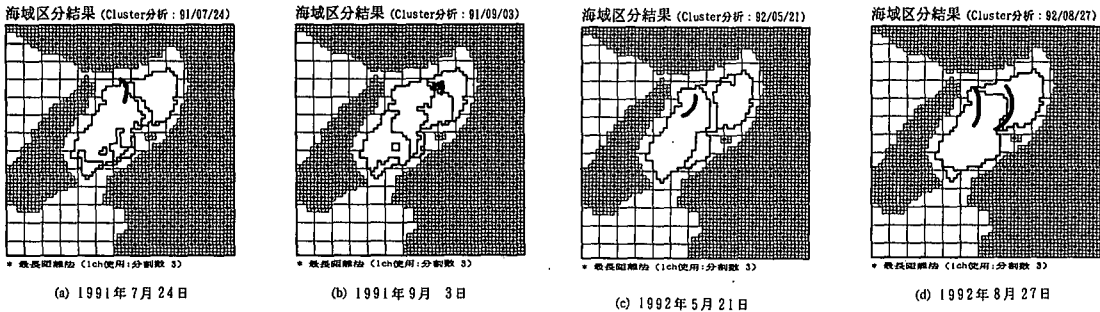


図-5 クラスタ分析による海域区分結果 (最長距離法: MCSST を使用)

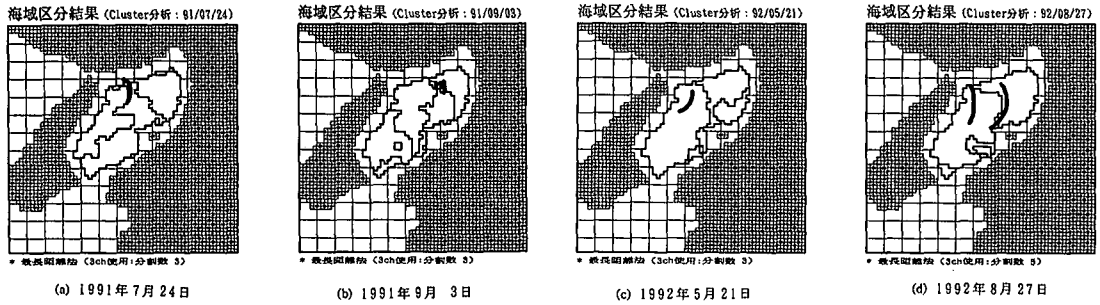


図-6 クラスタ分析による海域区分結果 (最長距離法: 全チャンネルを使用)

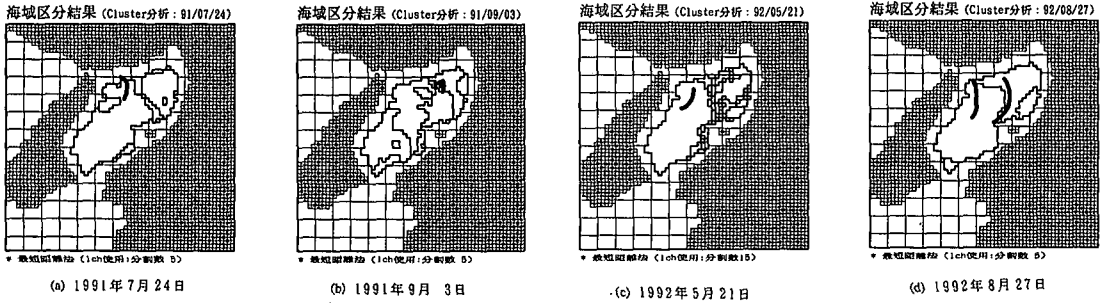


図-7 クラスタ分析による海域区分結果 (最短距離法: MCSST を使用)

タから何らかの手段を使ってデータの外挿が行えるようにした方がよいと思われる。たとえば、潮流計算と組み合わせなどにより潮目の時間的な移動特性を検討し、推定精度の向上に役立てていきたい。

(3) クラスターの判別手法による海域区分特性の変化

図-7(a)～(d)は、それぞれ最短距離法を用いてクラスター分析を実施した場合の海域区分結果を示したものである。そのほかの計算条件は図-5と同様である。

図-7(c)に示されるように、最短距離法を用いた海域区分では、潮目上に現れる細長いクラスターや陸域との境界にみられる小さいクラスターの判別およびこれらの細分化が先行して行われる傾向にある。このため、湾中央部の大きなクラスターの分割をえるためには分割数を多く必要とする。最短距離法はクラスター間の距離を圧縮する性質をもち、たとえば、図-8のヒストグラムで示すと、隣接した2つのピークの判別よりも、ピークの両すそのはずれたところに出現する異常データの判別を優先して行う傾向にある。したがって、最短距離法は異常値の抽出に適した解析手法であるといえる。ただし、潮目の推定のように、特性の似かよった2つの集団に対する分類を少ないクラスター数で行う場合には、最長距離法の方が安定した判別を行えると考えられる。

図-7(a)～(d)では、湾奥部と外湾部の大きな2つのクラスターの間に細長いクラスターが判別されており、これがさらに細分されて示されている。これらのクラスターは潮目の観測値に対して外湾側には判別されにくい傾向にある。湾奥側の停滞した水域では潮流による拡散等が起りにくいため、湾奥部の中で細かな水温分布構造が一度形成されると解消されにくい。このため、湾奥部ではその中で水温に変動がみられ、いくつかの領域に区分されていると考えられる。このことを逆に考えれば、湾の中央部に小さなクラスターがいくつも判別された場合、潮目はこれらのクラスター群の中央部に形成されるのではなく、外湾側にそった部分で形成される可能性が高いといえる。

5. おわりに

リモートセンシングデータを用いて海域をその特性により区分し、潮目を推定する手法の開発を行った。大阪

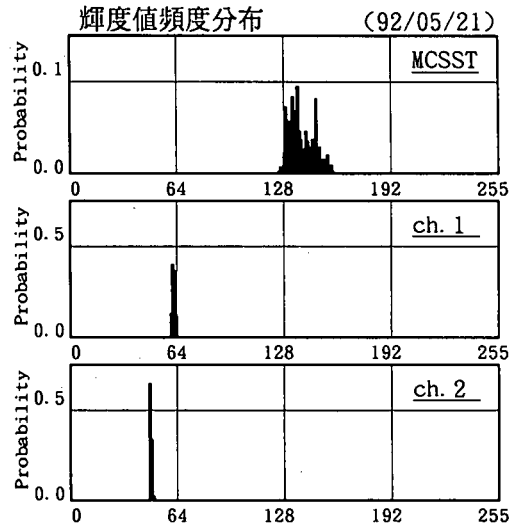


図-8 各チャンネルの輝度値の頻度表

湾の現地観測資料に対し推定手法の適用を試みた結果、潮目の推定値は観測値とよく一致し、モデルの妥当性が検証された。今後、さらに多くのケースに対して検討を重ね、推定手法をさらに確立されたものへと改良を加えていきたい。また、この推定値を初期値とした潮流計算を行うなどして、時系列を追った潮目の把握が行えるようにシステムを改良していきたい。

謝辞：大阪湾の浮遊ゴミ回収業務は運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所により精力的に実施されており、現地観測資料を本研究に使用するにあたり快く提供していただいた。また、同管内のゴミ回収船等の作業船開発業務は神戸機械整備事務所により行われており、本研究は同事務所の依頼を受けて実施されたものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 白沢あずみ・斉藤誠一 (1992): ノア衛星データ利用ハンドブック, (財)日本気象協会気象情報本部, 53 p.
- 日本写真測量学会編 (1986): 熱赤外線リモートセンシングの技術と実際, 鹿島出版会, 168 p.
- 柳哲雄編 (1990): 潮目の科学, 恒星社厚生閣, 169 p.