

高分解能衛星画像を利用した船舶の航行実態観測

環境・エネルギー研究領域 * 桐谷 伸夫、山之内 博、池本 義範

1. はじめに

現在、東京湾や大阪湾などの特定海域における船舶交通の観測や監視、管理は、各海上交通センターにより実施されている。これらの海上交通センターでは、航路通行通報や複数のレーダ・サイトからの航行実態情報を一元的に集約・管理することによって海域の安全確保に24時間体制、リアルタイム対応で大きく寄与している。しかし管制対象海域や船舶が限定されることから、漁船やプレジャーボートなどの小型船を含めた海域全ての船舶交通流を把握したものではない。また、これらの管制海域以外の港湾や海域において、船舶の動静や交通流を把握することは決して容易ではない。他方、地上分解能1m以下の高分解能衛星画像データの利用技術の進展には著しいものがあり、小型船を含めた海上航行船舶の把握が可能となっている。加えて、現在では多くの衛星において3次元モデリングを目的としたステレオ視撮影が実施されている。このような同地点に対して時間差を持って撮影されたステレオ・ペア画像を使うならば、海上航行船舶の動静をも定量的に評価することが可能となるものである。

本研究では、海上航行船舶の航行実態を自動認識するシステム構築を目的として、QuickBird衛星の高分解能ステレオペア画像データ処理の技術開発と事例評価を実施した。

2. QuickBird衛星の概要

QuickBird衛星の仕様概要を整理して、表1及び表2に示した。QuickBird衛星は、IKONOS衛星(Space Imaging社)と共に非軍事商用衛星として一般的に利用されており、地上分解能1m以下の高分解能衛星画像データを提供している。表1に示したように日本付近への接近は決して頻繁ではないが、表2に示したポインティング観測機能により同一地域付近の観測は可能である。

表1 QuickBird衛星の仕様概要

運用国及び機関 打ち上げ 飛行軌道	米国、Digital Globe社 2001年10月18日 太陽同期極軌道 (軌道傾斜: 97.2°)
飛行高度	450 km
衛星重量	950 kg
平均再訪時間 (日本付近)	1~3.5日
周期	約93.5分/1周
撮影時刻 (日本付近)	10:30頃
センサ機構	プッシュブルームセンサ

表2 観測センサの仕様概要

観測波長	パングロマチック: 0.45~0.90 μm Blue : 0.45~0.52 μm Green : 0.52~0.60 μm Red : 0.63~0.69 μm 近赤外 : 0.76~0.90 μm
地上分解能 (直下)	パングロマチック : 0.61m マルチスペクトル : 2.44m
ポインティング 機構	前後・左右 $\pm 25^\circ$
画素階調	11 Bit
撮影サイズ	スナップショット: 16.5*16.5 km ストリップ : 16.5*165 km ステレオ : 16.5*16.5 km

IKONOS衛星と比較するならば、飛行高度が若干低く、地上分解能で優位な性能を持っている。従って海上における船舶の観測や監視、航路や港湾内の輻輳状況評価などにも広く活用可能である。

表2に示したようにQuickBird衛星は、IKONOS衛星と同様に可視光と近赤外線の高分解能光学センサを搭載しており、マルチスペクトル情報の利用やパングロマチックバンドを利用した高細密データによる画像処理も可能である。

前述したように、多くの地球観測衛星はステレ



図1 QuickBird 画像例 (2003.04.22 10:21:27 久里浜港沖)

オ画像の観測機能を持っており、QuickBird 衛星でも表2に示したようにステレオペア画像の取得が可能となっている。その主たる用途は地形の3次元評価を目的としたものであり、3次元デジタルモデル (DEM: Digital Elevation Model、DTM: Digital Terrain Model) の作成に利用されることが一般的である。しかし高分解能であること、時間差を持ってステレオペア画像が観測されることを考慮するならば、海上航行船舶の動静を評価する手段としても利用することが可能である。

QuickBird衛星によって観測された画像の例 (8bitモノクロ化処理画像) を図1に示す。目視判別による船舶の認識はIKONOS衛星画像⁽¹⁾と同様に容易であり、QuickBird衛星画像が小型船から内航フェリーに至るまで十分に認識可能な細密度を持つことが明らかである。図2には、図1左に見られる久里浜港より出港船 (東京湾フェリー所属しらはま丸、79.1m、3260 GTon) の画像をほぼピクセル等倍にして示した。この図からもQuickBird衛星画像の細密性は明らかであり、甲板上的の様子や構造物を認識することが可能である。なお図2に基づく目視判別による評価によって 0.61[m]の分解能が確認された。

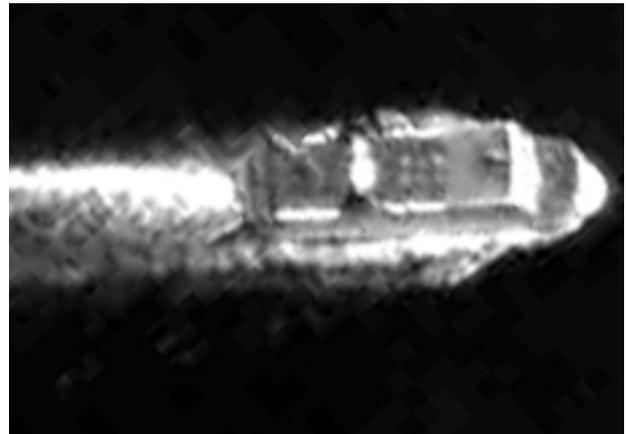


図2 航行船舶画像 (ピクセル等倍)

3. ステレオペア画像による航行実態の評価手法

ステレオペア画像を用いて船舶の動静・航行実態を評価するためには、ステレオ観測された2枚の画像において同一船舶を確実に同定することが第一の必須要件となる。これを経験者による目視判別作業と考えるならば困難なことではないが、航行実態を自動処理によって評価するシステムの構築を視野に入れるならば、その実現は決して容易なことではない。

図3には、図1の画像に対して66秒前に観測された画像を重ね合わせて示した。対象とした海域

は図1で白ワクで示した部分である。ここで目視判別によって同一船舶の対応を取ることは、図中に示したように十分に可能なことであり、この結果に基づき航行船舶個々の船速や航行方位を求めることができる。しかし現実問題として、本来大量情報の取り扱いを前提とする衛星画像情報の処理において、このように全てを人的作業に依存することは効率性からも信頼性の観点からも回避すべきであることは言うまでもない。そこで、ステレオペア画像の一方において海上船舶個々の画像を自動抽出し、他方のステレオペア画像に対するテンプレート・マッチングモデルとして適用させることを提案した。すなわち、マッチング処理の結果として得られる移動量を手掛かりとして海上船舶の動静を評価する方法である。

マッチング処理に供することが可能なモデルの自動抽出を目的として、海面・波・船体の基本的な反射特性を明らかにするために色情報をRGB分解した結果を図4(a)~(c)に示した。図4(a)のRGB別の輝度レベル値分布から明らかなように、海面は特徴的で固有なひとつの色要素によって構成されている。従って、海面を非海面と分離することは比較的容易な作業であることが推測されるものである。しかし、図4(b)と(c)に示した輝度レベル値分布から考えるならば、航走波と船体の分離判別を色情報から実施することは困難である。特に対象とした船舶が白色塗装部分の多い

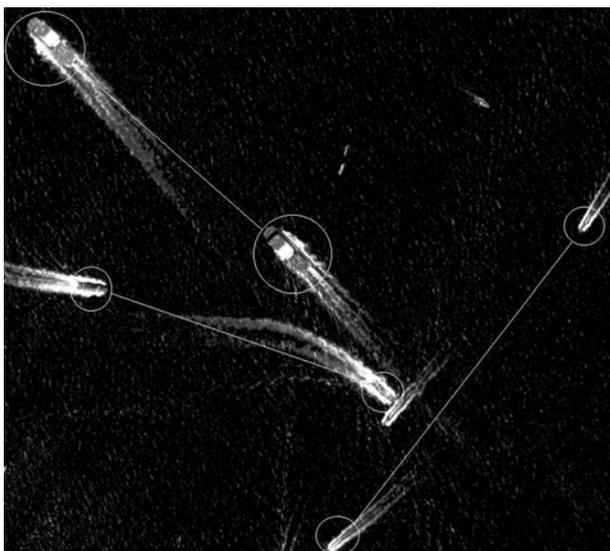


図3 ステレオペア画像の重ね合わせ結果

フェリーであることに起因する結果であるが、これは決して特殊な事例ではない。そこで航走波と船体の分離の対応を考えるならば、船体の形状認識のプロセスを付加することが現実的なものである。しかし、ここで目的としていることがマッチングモデルの自動生成であることに立ち戻るならば、航行船舶の持つ航走波自体もまた対象船舶固有の情報と考えられる。そこで本研究では航走波を含めた船舶の画像を抽出することによって、マ

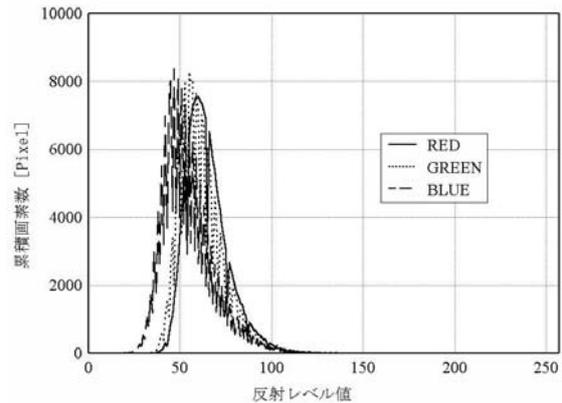


図4(a) 海面のRGB別分布

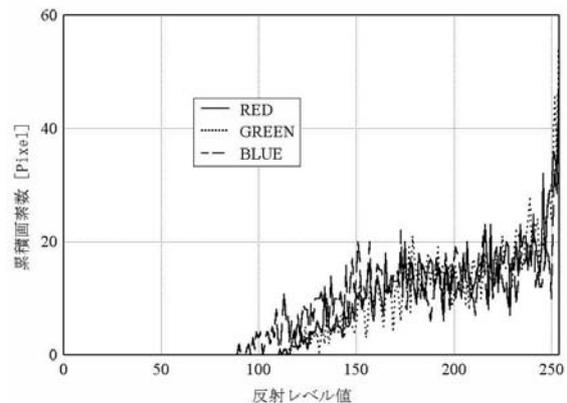


図4(b) 航走波のRGB別分布

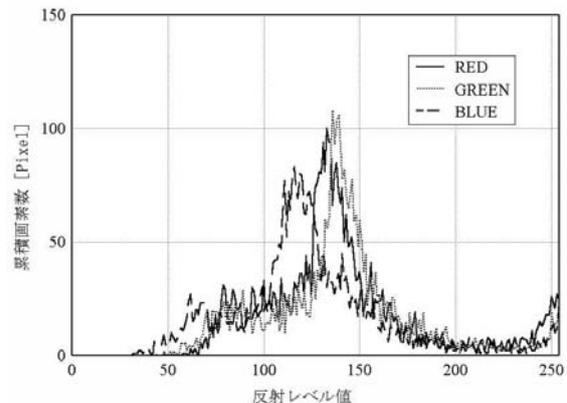


図4(c) フェリー船体のRGB別分布

ッチングモデルの自動生成を実施した。

4. 画像処理の自動化手順と航行実態の評価結果

海上船舶の航行実態を評価するための自動化された画像処理の流れを整理して図5に示した。ステレオペア画像の一方において、前述したように海面と航走波・船体の分離を実行し、ラベリング処理により個別の認識を行うことが第一段階である。次に個別認識された航走波・船体画像の大きさによりマッチング処理に供するモデル画像を切り出し、このモデル画像に対するテンプレート・マッチング処理を他方のステレオペア画像に対して実施する手法を採用した。このようにして2枚のステレオペア画像それぞれにおいて、個別認識された船舶の位置や回転角度の変動量が得られることから海上船舶の動静など航行実態の把握を可能にするものである。

自動化された処理の事例を図6に示した。図3において使用したステレオペアセットの海域画像を用いて航行船舶の動静を示したものである。船体上のマーカーに繋がる他方のマーカー位置がステレオ観測間隔である66秒前の船位を示している。このようにして得られる移動距離と方位を船舶の航行実態として整理した結果が表3であり、高分解能ステレオペア衛星画像によって海上船舶の航行実態を把握・評価することが十分に可能であることが明らかである。

5. おわりに

これまで海上交通流の実態観測や評価はレーダ観測に依存するものであった。しかし本研究で示したように高分解能ステレオペア衛星画像を利用するならば、新たなアプローチとしての評価手法が確立されるものである。衛星自体の回帰条件などの問題は残るが、高分解能であることの特徴を十分に活用した利用技術の開発と評価、実証が今後の課題と考えられる。また、広い視点からの海事分野における高分解能衛星画像情報の利用技術の検討や開発が重要である。

参考文献

- (1) 桐谷伸夫：高分解能衛星画像データを利用した係留小型船舶の認識、日本航海学会論文集、No. 112、pp. 179-187、2005. 3

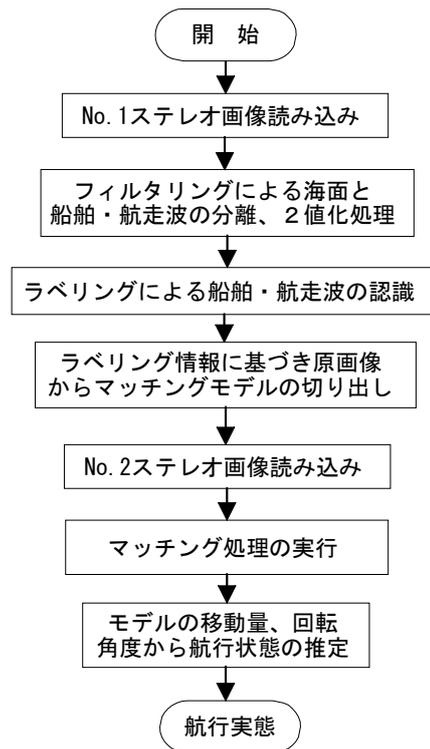


図5 自動化された処理の流れ

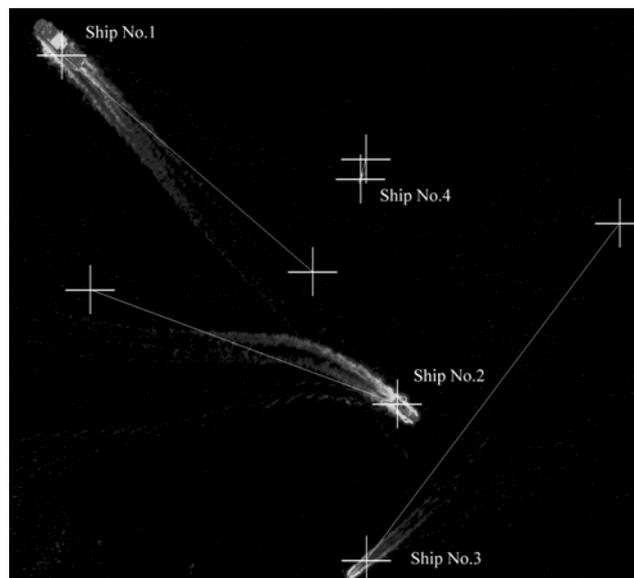


図6 マッチング処理による航行実態評価

表3 海上船舶の推定航行情報

航行船舶 (Ship No.)	推定船速 (m/sec.)	推定航行方位 (deg.)
No. 1	6.28	318.0
No. 2	6.14	108.9
No. 3	8.00	216.7
No. 4	0.39	194.5