高分解能画像データを利用した係留船舶の認識技術

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

近年、地上分解能１m以下の高分解能衛星画像データの利用が民生分野においても広まりつつあり、その可能性や有効性が注目されている。従来、海事分野においては、比較的大型の海上航行船舶に注目した SPOT 衛星などの画像データによる観測技術の開発が進められていたが、データの細密化により新たな分野への利用も考えられるようになった。米国では、1994 年に始まった規制緩和に基づき偵察衛星技術の民生転用による商用観測が認められた。その結果、1999 年９月に「IKONOS：イコノス」衛星が打ち上げられ、2000 年１月よりの運用により、地上分解能１m クラスの画像データの民生利用が可能となっている。

本研究は、河川域の小型係留船の自動認識までも視野においた係留船舶の自動認識を IKONOS 衛星の画像データを用いて実現することを目的としたものである。このような船舶認識のアルゴリズムは種々提案されているが、本論では、特にテンプレート・マッチング技術を活用した自動認識のための技術開発と事例評価を実施した。

２．IKONOS 衛星の概要

IKONOS 衛星の仕様概要を整理して、表１に示した。2000 年の通常運用当初から、その画像の細密さは社会に大きな衝撃を与え、現在では紛争地域や自然災害などのテレビ報道には欠かすことのできないものとなっている。このように社会的にも広く認知された IKONOS 衛星をはじめとする高分解能衛星画像データの一般的な利用用途を整理するならば、以下の通りである。

・災害時などにおける地上状況の把握
・地図作成のためのベース画像
・経年変化を含めた地上現況の評価
・地理情報システム（GIS）のベース画像

表１　IKONOS 衛星の仕様概要

運用国及び機関	米国、SPACE IMAGING 社
打ち上げ	1999 年 9 月 25 日
寿命	７年
飛行軌道	太陽同期準極軌道 （軌道傾斜：98.12°）
飛行高度	680Km
回帰日数	11 日
周回回数	14 回／日
観測センサ	リニアアレイ （可視及び近赤外）

表２　観測センサの仕様概要

素子数	パンクロマチック：13,816 マルチスペクトル： 3,454
観測波長	パンクロマチック:0.45～0.90μm Blue ：0.45～0.52μm Green：0.52～0.60μm Red ：0.63～0.69μm 近赤外：0.76～0.90μm
地上分解能（直下）	パンクロマチック：0.82m マルチスペクトル：3.3 m
撮影傾斜角度	全方位 Max.45°
画素階調	11 Bit

・航空写真分野の代替

これらの利用用途が主たるものであり、海事分野への利用は決して多くなく、今後の課題となっている。表１に示したように同一位置への回帰は 11 日間隔であるが、１日 14 回の準極軌道の周回をしている。またポインティング観測機能により、ほぼ毎日同一地域付近の観測も可能である。従って海事分野においても船舶の観測や監視、航路や港湾内の輻輳状況評価などに活用可能である。

表２に示したように IKONOS 衛星は可視光と近赤外線の画像センサを搭載しており、マルチスペクトル情報の利用だけでな、近赤外域波長の特性を生かした利用が期待できるものである。また、

IKONOS 衛星画像データの地上分解能は 0.82m（パンクロマチック画像）と極めて高く、大型船舶のみならず内航小型船舶やプレジャーボートなどの観測にも広く利用可能と考えられる。しかし、観測センサの波長帯域が可視域中心のパッシブな光学センサであることから、雲などがある条件では撮影が不可となる欠点もある。

IKONOS 画像データの実例として、図１Ａ及び図１Ｂに東京海洋大学越中島キャンパスのパンクロマチック画像（2000 年 3 月 10 日観測）を示した。図１Ａは全景を現すための処理により実質上の地上分解能はおおよそ半分程度となっているが、図１Ｂはピクセル等倍の精度を持つものである。これらの図より明らかなように、高分解能衛星画像データの細密度はひじょうに顕著であり、「やよい（旧）」や「おおたか」と推定される小型艇のみならず、カッターの判別も充分に可能な分解能が得られている。また運河内の船舶の姿も鮮明であり、甲板上の様子も認識できるものとなっている。このように IKONOS 画像は、これまで困難であった内海水路や河川における小型船舶の認識や判別にも利用可能な事が明らかである。

図１Ａ　IKONOS パンクロマチック画像例
（©JSI/KEIO Univ.）

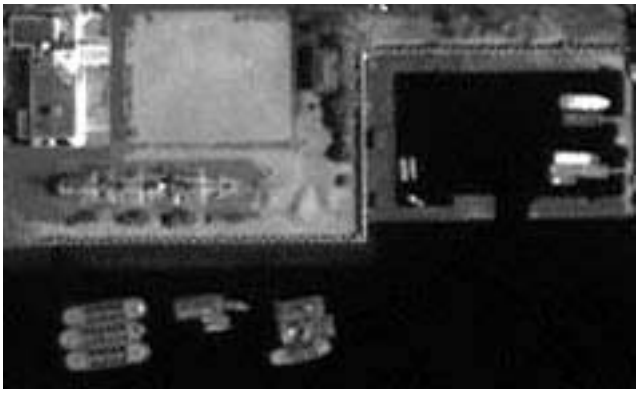

図１Ｂ　ピクセル等倍表示の画像例

３．マッチング処理の概要と画像データの選択

マッチング処理はパターン認識のための基本的な画像処理技術であり、例えば文字認識などの手法として利用されているものである。基本的な認識アルゴリズムの違いから、テンプレート・マッチングと構造マッチングに大別される。テンプレート・マッチングはモデル画像を観測画像に重ね合わせることによって評価するものであり、構造マッチングは画像から抽出される構造的な特徴点の位置関係を重ね合わせて評価するものである。ここで、テンプレート・マッチング処理の概念を図２に示した。単純化して言うならば、マッチング・モデルとなるテンプレート画像 Ni*Nj をそれより大きな画像 Mi*Mj 内で動かして類似度（相関）を調べることを逐次実行するものである。一般的には、計算手順が爆発的に増大することからモデルの回転や縮小拡大の処理は除外され、平行移動に対してのみ相関を調べる状況で有効な手段とされてきた。しかし、コンピュータの処理能力

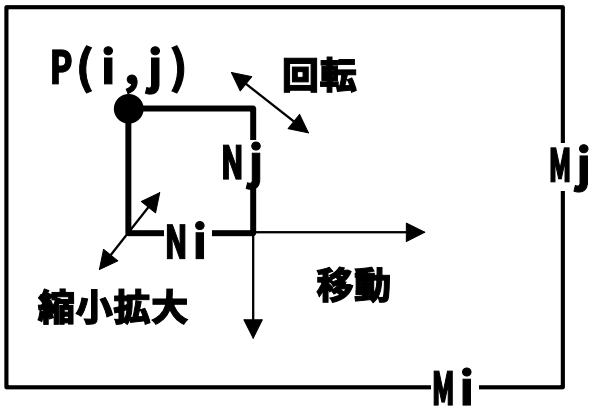

図２　テンプレート・マッチングの概念

の強化や処理アルゴリズムの進展により、最近ではモデルの回転や縮小拡大処理を含めたテンプレート・マッチング処理を実行することが可能となっている。従って、高速なリアルタイム処理を指向する手法としてでなく、オフライン処理において大量の画像データを自動的に逐次処理を繰り返すような場合にはひじょうに有効な手段になるものと考えられる。

図４　可視光画像と近赤外画像の特性比較

マッチング処理は、基本的にモデルの形状を手掛かりとして処理を実行することから、1 ch.データを取り扱うものである。しかし表２に示したように衛星画像データはマルチスペクトル・データであり、観測センサの発展により多チャンネル化が大きく進められている状況である。処理時間に余裕のあるオフライン処理であれば、最も分解能が高いパンクロマチック・データを対象として選択することが望ましいが、他のバンドについて船舶認識の立場より評価した結果を図４及び図５に示した。図４左は可視域画像をモノクロ化したものであり、右は広帯域センサに可視域のローカット・フィルターを装着して不可視域情報を画像化したものである。また図中縦方向ライン上の輝度プロファイルを図５に示した。一般的に近赤外バンドは植生や水系に対する反射の特徴が指摘されており、その傾向はこれらの図においても確認される。近赤外画像において建造物と水面との差異は決して明確とはなっていないが、水表面への映り込みや反射の影響が軽減される特徴が表れている。観測バンドの選択は、撮影条件や認識対象物との関係により決定されるべきであるが、船舶を対象とした場合、近赤外域画像の利用は有効な選択のひとつと考えられる。

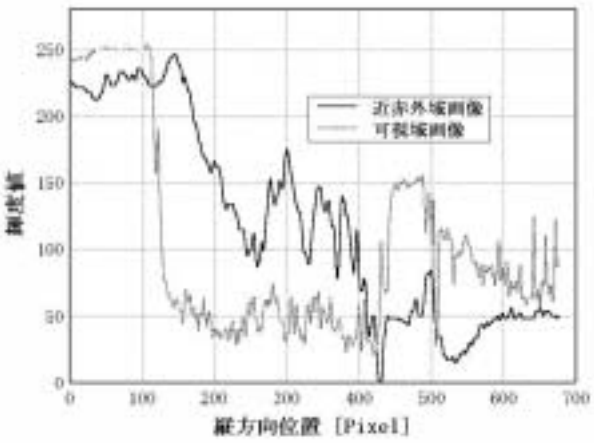

図５　可視光と近赤外の反射特性比較

図６　解析対象とした観測地域周辺

４．テンプレート・マッチング処理による小型係留船舶の認識結果と評価

小型係留船舶の認識を目的として使用した画像は、2001 年 3 月 19 日観測の神戸港摩耶埠頭付近の IKONOS 近赤外画像である。周辺の位置関係地図を図６に示した。

図７を処理原画像として係留された小型船をモデル画像として抽出し、正規化相関法によるテンプレート・マッチング処理を実行した。なおモデル画像に対して、±45 ° の回転条件と 0.9～1.1 の縮小拡大条件を与えて処理した結果を図８に示した。目視観測による対象船舶数に対して、マッ

図７　観測原画像（©JSI/KEIO Univ.）

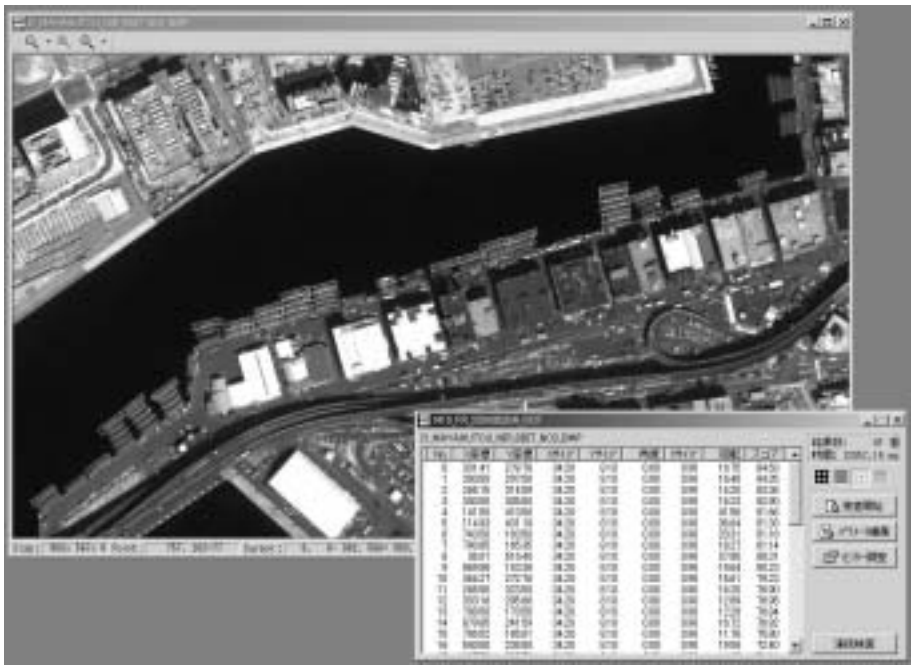

図８　マッチング処理結果

チング処理による自動認識成功率は約 70%である。自動認識の失敗例は図８左下に多発していることから、認識率の低下はモデルの回転処理によるジャギーの発生に起因するものと推定される。この部分を除いた場合の自動認識成功率は約85%である。従ってモデルの回転及び縮小拡大処理を行うマッチング処理を用いた自動認識においては、可能な限りモデルの構成画素数を大きくする、すなわち、より高い分解能を持つ画像データを利用することが重要であると考えられる。

５．おわりに

海事分野における高分解能衛星画像データの利用技術への取り組みは、未だ数少ない状況であるが、今後に大きな可能性を持つものである。パッシブ・データであることや、高価であることなどの問題はあるが、プレジャーボートなどの小型船の監視や河川域までも対象水域として拡大できることなど、これまで実現できなかった課題を容易に解決する有効な手段として広く検討し、活用を図ることが必要である。

本論において使用した IKONOS 画像データの所有権・著作権は日本スペースイメージング（株）にあり、慶應義塾大学のガイドラインに従った正規登録ユーザーとしての利用許諾を得て、これを使用したものである。