

沿岸環境監視における 衛星データの活用戦術の提案

PROPOSAL ON UTILIZE TACTICS OF REMOTE SENSING DATA FOR COASTAL MARINE ENVIRONMENT MONITORING

東俊孝¹・大林成行²・齋藤喜代子³・大地正高⁴

Toshitaka AZUMA, Shigeyuki OBAYASHI, Kiyoko SAITO and Masataka OCHI

¹正会員 工修 (株)国土情報技術研究所 情報解析部 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷一丁目16-14)

²正会員 工博 (株)国土情報技術研究所 代表取締役 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷一丁目16-14)

³正会員 工博 (株)国土情報技術研究所 企画開発部 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷一丁目16-14)

⁴(財)資源・環境観測解析センター 調査研究部 (〒104-0054 東京都中央区勝どき三丁目12-1)

The objective of this research is to propose a utilize tactics of remote sensing data for coastal marine environment monitoring. Statement of principles for using Sea Surface Temperature (SST), which is based on feasibility study for utilizing remote sensing data, focuses on regular monitoring from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data and gathering of timely information from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. To develop a procedure for estimating SST from ASTER data is necessary to combine "Quality of ASTER data" and "Algorithm for estimating SST from ASTER data". In this research, "5 bands method using recalibration LIB data" has showed the best procedure for estimating SST from ASTER data. Furthermore, Specialists of administration section have reviewed practical scenario of utilization of SST. As a result, SST from remote sensing data is effective tool to monitor the coastal marine environment, if observation frequency and quick delivery of satellite information satisfy with user's needs.

Key Words : *Coastal marine environment monitoring, Remote sensing data, Sea surface temperature*

1. はじめに

近年, 人工衛星から得られる海況情報が地球温暖化の予測や海洋の基礎生産力を把握する手段として注目されている。中でも, 水温情報に関しては, 気象衛星を用いた監視手法が確立されており, 気象予報だけでなく漁場探索においても実用化されている事例が多い。気象衛星から得られる水温情報は, 観測周期が短く, 観測領域も非常に広域なため, 主に外洋における漁業の支援情報として利用されてきた。

一方, 私達の生活圏に近い沿岸域に着目してみると, 漁業資源の管理や沿岸環境の変動把握といった観点から, より詳細な水温情報の利用ニーズが高まっている。1997年から漁獲量の総量管理制度(TAC制度)が導入されたことにより, 沿岸漁業の形態が「獲る漁業」から「育てる漁業」へ移行しつつあり, 養殖漁業に留まらず「栽培漁業」や「資源管理型漁業」に対する積極的な取り組みの影響と解釈できる。

こうした背景の下, 従来から利用されてきた低分

解能衛星データでは, 空間分解能が1km程度であるため, 海岸線に近い水域にそのまま適応するのは難しいとされてきた。沿岸水域の詳細な水温情報を捉えるためには, 高い空間分解能と温度分解能だけでなく広い観測幅も必要となるため, 熱赤外バンドを持った新たな衛星センサの導入について大きな期待がかけられている。

そこで, 本研究では発展型センサとして多くのユーザが注目しているアスター (ASTER) のデータに着目し, 沿岸水域における実用的な水温情報の作成方法から効果的な活用方法までを提示するものである。水温情報の活用にあたっては, 多方面からの検討の結果, ASTERと同一の地球観測衛星 (TERRA) に搭載されたセンサであるモディス (MODIS) のデータとの統合利用に限定して検討を進めた。

2. シーズ技術調査

シーズ技術調査では, 衛星データを用いた水温情

報の利用動向を把握するため、「センサ観測技術」・「水産分野の利用技術」・「気象分野の利用技術」に区分した後、関連する文献を収集・整理した^{1)~18)}(表-1)。利用動向の事例は出来るだけ最新のものとし、代表的な衛星を対象としてとりまとめている。なお、ここでは、水温情報と併用して利用されることが多い「水色情報」の観測技術についても調査している。

シーズ技術を調査した結果、沿岸環境監視における衛星データの活用戦略が明確になった(図-1)。活用戦略における方向性を以下に列挙する。

- ①データ入手の容易性と情報配信の迅速性を実現
- ②データから情報への加工の容易性と迅速性を実現
- ③情報の信頼性を向上
- ④雲域による情報の欠落に対応

さらに、沿岸地域に限らず、陸域を含めた「環境モニタリング」では、以下に示す2つのリアルタイム性が求められていることも判った。

- ①定常的なデータの観測(数時間間隔というオーダー)
- ②情報の迅速な提供(1日以内)

つまり、センサで取得した衛星データに関しては、リアルタイム処理が要求されている。リアルタイム処理とは、データ取得から物理情報に変換し、ユーザに提供するまでの時間を意味する。水産分野では、1日以上経った情報は、情報の価値自体が陳腐化するといった指摘からも、リアルタイム処理は必要不可欠といえる。また、環境モニタリングでは、最低でも1年間は、高頻度で均一なデータを蓄積・解析しなければならない。そのため、観測周期が2週間程度あるASTERデータの単独利用は非常に難しいと

いえる。現状のASTERデータを沿岸環境モニタリングで活用していくには、空間分解能は低い、観測周期が数日間と短く、日本全域をほぼカバーできる低分解能衛星データと併用することにより実用化の可能性が見えてくる。

3. ニーズ技術調査

前述したシーズ技術調査の結果を基に、国や都道府県の研究機関に対してヒアリング調査を実施した。その結果、赤潮・青潮の発生予測および監視の他に「急潮の把握」に対して利用ニーズが高いことが判った。急潮は、沿岸水域で見られる突発的な強流現象であり、沿岸に設置された定置網や養殖網の破損・流出等の漁業被害をもたらすものである。特に、相模湾や東京湾口では、古くから急潮の存在が知られており、予測と実態把握に関して研究が実施されてきた¹⁹⁾。相模湾においては、漁業被害を与える急潮の発生原因を黒潮から分派した暖水波及により発生する「黒潮型」と台風の接近により発生する「台風型」に大別できる。そこで、本研究では雲の影響が少ないと考えられる「黒潮型急潮」の把握に限定し、次のような基本指針を設定して、水温情報の活用シナリオを作成することとした。

(1)衛星センサの役割分担の明確化

定常的な監視はMODISデータを中心に考える。緊急情報収集が必要となる兆候が見えた時点でASTERデータを連続的に観測・収集する。

(2)実用的な水温情報の作成

現地計測により得られた実測データを利用して、

表-1 シーズ技術調査の総括表

技術項目	提供可能な技術	具体事例	運用機関又は実施機関
センサ観測技術	①水温推定のみ	NOAA/AVHRR TRMM/TMI LANDSAT/TM・ETM+	米国海洋大気庁(NOAA) 宇宙開発事業団(現JAXA) 米国航空宇宙局(NASA)
	②クロロフィルa濃度推定のみ	SEASTAR/SeaWiifs	米国航空宇宙局(NASA) オーブイメージ社
	③両者が推定可能	ADEOS/OCTS	宇宙開発事業団(現JAXA)
水産分野の利用技術	①漁場探索・予測	カツオ漁場の探索(AVHRR水温情報) カツオ漁場の探索(TMI水温情報) マイワシ漁場の探索(AVHRR水温情報とOCTS水色情報) シラス漁獲量の予測(AVHRR水温情報とOCTS水色情報)	三重県水産技術センター 宇宙開発事業団(現JAXA) 鳥取水産試験場 愛知県水産試験場
	②情報提供システムの開発	漁海況情報提供システムの開発(AVHRR水温情報とSeaWiifs水色情報) 水温情報の動画表示の検討(AVHRR水温情報) カツオ漁場探索を目的としたシステムの開発(AVHRR水温情報) 養殖・定置網漁業、小型漁船漁業を対象とした情報提供システムの開発(AVHRR水温情報、GLI水色情報、TM水質情報、HRV水質情報)	茨城県水産試験場等 漁業情報サービスセンター 和歌山県農林水産技術センター 岩手県水産技術センター
	③海洋の基礎生産力の把握	基礎生産量の推定アルゴリズムの改良(OCTS水温情報と水色情報) 沿岸海域における湧昇流の確認(AVHRR水温情報とTM水温情報)	遠洋水産研究所 北海道開発局
	④排水監視	火力発電所の温排水モニタリング(TM水温情報)	電力中央研究所
気象分野の利用技術	①気象業務への利用	毎日の日本近海の海面水温の解析(AVHRR水温情報) 海面水温算出方法の改良(GMS水温情報) 日本画像データベースの構築(AVHRR水温情報)	気象庁 気象衛星センター 東北大学
	②気候変動の予測	「エルニーニョ現象」「ラニーニャ現象」の把握(TMI水温情報) 瀬戸内海特有の大気海洋相互作用の把握(AVHRR水温情報)	宇宙開発事業団(現JAXA) 岡山大学
	③海洋気象の解明	黒潮が日本周辺の気候に与える影響把握(TMI水温情報) 熱帯海洋における不安定波の把握	海洋科学技術センター等 東海大学

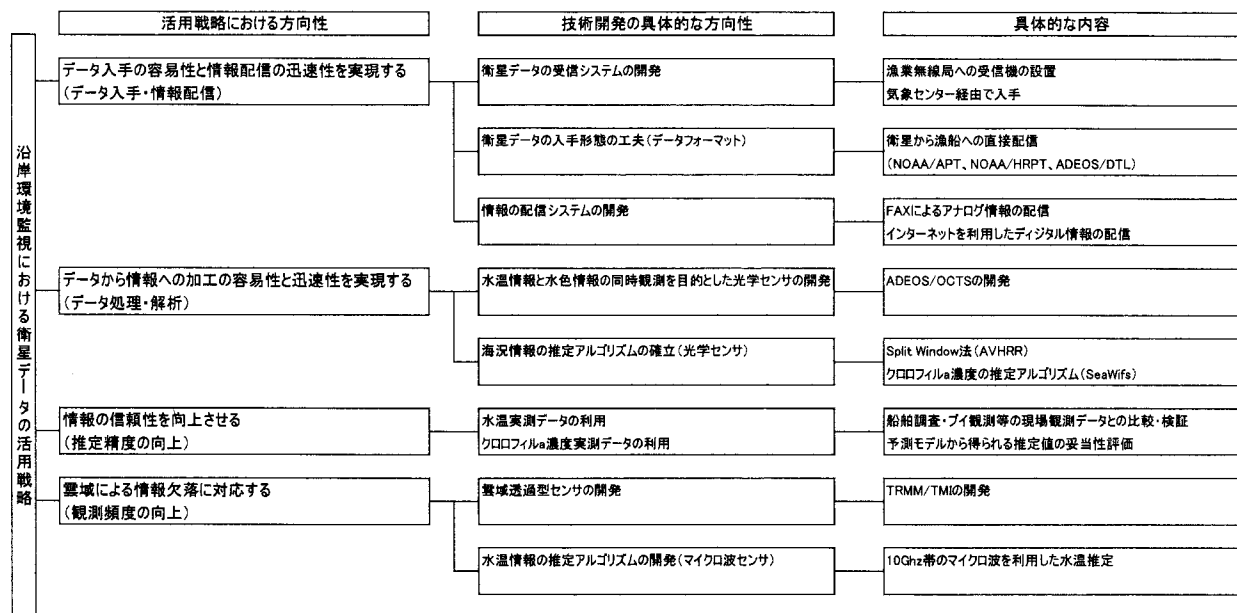


図-1 沿岸環境監視における衛星データの活用戦略

「MODISデータから得られる水温情報(MODIS SST)」の精度を向上させるとともに、「ASTERデータから得られる水温情報(ASTER SST)」との相互校正を通じて、空間スケールの違う2種類の水温情報の整合性をとる。

(3) 既存の災害予報システムとの連携

実際に発令された急潮警報を基に、2種類の衛星データから得られる水温情報を活用する。

4. 沿岸環境監視手法の開発

本手法の開発のために、実利用を想定した水温情報を作成するため、「ASTERデータの品質」と「水温推定手順」について検討した後、「水温情報の活用シナリオ」までを取りまとめている。水温推定手順では、ユーザが簡易に実施できるとともに、センサの能力を十分に反映させた高精度の水温情報の作成を目指した。なお、水温情報の活用シナリオは、2002年11月27日に神奈川県水産総合研究所から発令された急潮警報を基に作成している。以下、主要な項目の内容と成果について説明する。

(1) 対象領域

本研究における対象領域は東京湾である。東京湾は、湾奥に首都を抱える代表的な閉鎖性水域であり、国による海の再生計画が進行中である。また、湾口部は太平洋に面しているため、黒潮流路の変動により、海況が大きく変化するという特徴を持つ。

(2) 使用データ

使用したデータは、ASTERデータ(空間分解能15m)とMODISデータ(空間分解能1km)である(表-2)。これらのデータは、観測幅や空間分解能等は大きく異なるが、5分前後で連続的に観測されることが多いといった特長を持つ(図-2)。ASTERデータは、急潮警

報が発令された直後に観測された6シーンであり、資源・環境観測解析センター(ERSDAC)が開発した地上システム経由でプロダクトを入手し、処理・解析している。MODISデータについては、2002年8月から2003年5月にかけて日本全域を観測した12シーンであり、宇宙航空研究開発機構地球観測利用推進センター(JAXA EORC)が準リアルタイム処理でWeb上に公開している1km分解能の「海面水温」のバイナリデータを入手し、加工・編集している。

(3) 前処理

ASTERでは熱赤外センサを装備しているため、水域を含む地表面の温度情報を把握できる。この温度情報は、センサ感度に依存するため、観測データの品質保証の観点から「放射量校正」が重要な作業として位置づけられている。しかしながら、放射量の校正係数は実際のセンサ感度の劣化速度に比べて更新頻度が十分でないといった問題が指摘されていたため、現在、一般的なユーザがセンサ感度の劣化を補正する手順が公開されている²⁰⁾。本研究では、この手順を用いて実際に補正処理を実施しており、ASTER熱赤外センサの潜在的な能力を最大限生かした水温情報の作成方法について検討している。

(4) 水温推定アルゴリズムの概要

現時点でASTERデータから水温情報を得ようとする場合、最低でも「3パターンの水温推定手順」が想定できる。これは「ASTERデータの品質」と「水温推定アルゴリズム」の違いを組み合わせたものであり、以下の3つのケースに区別できる。

Case1: オリジナルの1Bデータに5バンド法を適用

Case2: 補正した1Bデータに5バンド法を適用

Case3: 地表面温度(2B03)プロダクトの利用

なお、本研究で採用した水温推定アルゴリズムの概要は以下のとおりである。

表-2 使用した衛星データの諸元

NO.	Date	Acquisiton Time	Sensor
1	2002/08/31	JST 10:49	MODIS
2	2002/09/04	JST 10:25	
3	2002/11/28	JST 10:43	
4	2002/12/02	JST 10:19	
5	2003/02/14	JST 10:55	
6	2003/03/04	JST 10:42	
7	2002/08/28	JST 21:21	
8	2002/09/02	JST 21:39	
9	2002/11/28	JST 21:45	
10	2002/12/04	JST 21:51	
11	2003/02/14	JST 21:56	ASTER
12	2003/03/04	JST 21:44	
13	2002/11/28	JST 21:49	
14		JST 21:49	
15	2002/12/14	JST 21:49	
16		JST 21:49	
17	2002/12/30	JST 21:49	
18		JST 21:49	

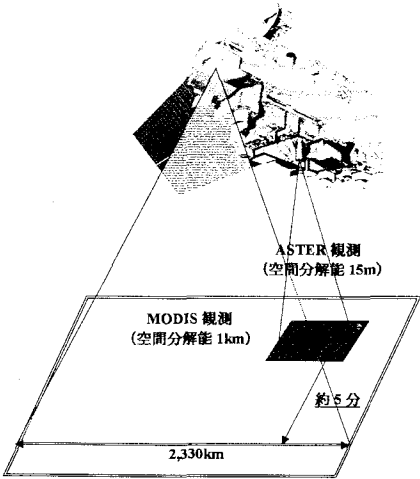


図-2 ASTERデータとMODISデータの関係

a) 5バンド法²¹⁾

ASTERデータから水温情報を推定するアルゴリズムとして、TERRAの打ち上げ前に準備されたものがある。この推定アルゴリズムは、放射伝達モデルを用いて様々な条件下で計算された熱赤外域(5バンド)の輝度温度の回帰式により、ASTERデータ用の水温推定アルゴリズムとその係数および推定誤差について検討されたものである。本研究では、Case1およびCase2で使用している。

b) ASTER TESアルゴリズム²²⁾

ASTERでは、地表面温度の推定を目的としたTESアルゴリズムが開発されている。ASTER TESアルゴリズムは、温度放射率分離として高い精度を持つほか、「処理に際して人間の判断を必要としない」、「計算負荷が小さい」等の要求に基づき設計されている。ASTERサイエンスチームによるアルゴリズムの検証の結果、地表面温度で1.5℃程度の精度が保証され

ている。本研究では、ERSDACより2B03プロダクトを購入した後、簡易な変換式を用いて水温情報に変換している(Case3)。

(5) 水温情報の作成方法に関する検討

ここでは、MODIS SSTの精度確認から活用シナリオの照査までを順を追って説明する。なお、東京湾の水温実測データは、10分間隔のブイ計測結果を利用しており、データ提供は「国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部」より受けている。

a) MODIS SSTの精度確認

JAXAから公開されているMODIS SSTの精度は、平均平方二乗誤差(RMSE: Root Mean Squared Error)で約2.25℃であるが、雲域の影響、沿岸付近の陸域の影響、観測時間・測定深度の不一致等が推定誤差に大きく影響していることが指摘されている。そこで、MODIS観測の10分以内に実測された水温データを用いて、MODIS SSTの推定精度を再確認した。なお、ブイの測定水深は3mであるが、同時期に実施された船舶調査の結果と比較したところ、表層水温(水深0.5m)として取り扱えることを確認している。水温実測データは、東京湾において四季を通じて観測されたものを採用しており、昼間で合計68点、夜間で合計74点である。なお、明らかに陸域の影響や雲域の影響を受けて異常を示すデータは対象から外している。

MODIS SSTの推定精度(SDE: Standard Deviation Error)を確認した結果、昼間では「約0.6℃」、夜間では「約0.7℃」であった。高精度の水温推定が実施されていると解釈できる。また、オフセット値として水温推定誤差の平均(AE: Average Error)を計算したところ、昼間では「0.26℃」、夜間では「0.31℃」となった。つまり、MODIS SSTから昼と夜といった観測条件に合わせてオフセット値を差し引けば、実用的な水温情報が得られることが解る。

b) 相互校正が可能な検討ケースの選定

ユーザが実利用を前提に水温情報を利用する場合、異なるセンサから得られた温度情報の整合性が取られている必要がある。そこで、MODIS SSTとASTER SSTの相互校正を実施し、オフセットを取れる関係にある検討ケースが実用的な水温推定手順と判断した。相互校正に際しては、イメージ間の幾何補正(座標系、メッシュサイズを同一)をした後、東京湾内と湾外の2箇所でプロファイルを設定している。MODIS SSTに関しては、上記したオフセット値を差し引いて、実用的な水温情報に補正している。また、ASTER SSTは、11×11のウィンドウサイズのローパスフィルターを適用することで約1km四方の平均水温を計算した後、MODISデータと同一のメッシュサイズ(1km)になるように幾何補正を実施した。ASTER SSTから得られる約1km四方の水温は、0.2～0.3℃のバラつきがあることも確認している。

MODIS SSTを基準に3つの検討ケースを比較した結果、AEやSDEを考慮すると「Case2」のASTER SSTが最も整合性が取れていると判断できた(図-3)。

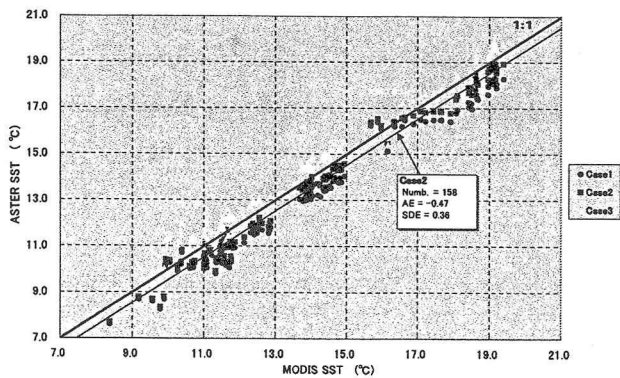


図-3 ASTER SSTとMODIS SSTの比較

c) ASTER SSTの精度確認

ASTER観測の10分以内に実測された水温データ（東京湾，測点数：7点）を用いて，ASTER SSTの推定精度を確認した。なお，明らかに陸域の影響や雲域の影響を受けて異常を示すデータは対象から外している。精度確認には，MODISとASTERが同期観測し，水温実測データも得られている2002年11月28日のデータを使用している。

その結果，Case2のASTER SSTのAE値が「 0.31°C 」，SDE値が「 0.23°C 」となり，3ケースの中で最も高精度な水温情報が得られていることが判った。本研究で実施した精度確認では，測定点が少ないため統計的な信頼性にかかる部分はあるが，Case2のASTER SSTは，オフセット補正を実施すれば実用的な水温情報が得られると解釈できる。

(6) 水温情報の活用シナリオの作成と照査

本研究では，利用者のニーズが高い「急潮による影響把握」に対して水温情報の活用シナリオを作成した。各項目の詳細内容を以下に示す。

a) 想定しているユーザ

想定しているユーザは，神奈川県水産総合研究所である。相模湾では，1995年4月からテレメータ方式により1時間毎の「流向・流速・水温情報」の観測・収集が可能となり，2001年11月からはリアルタイム観測体制も整い，急潮の予報が実施されている。また，ユーザは，NOAA衛星が取得した観測データを研究所屋上に設置した追尾アンテナで受信し，解析システムにより海面水温画像を作成しているため，衛星データの利用に関しても積極的である。

b) 急潮把握の現状と課題

現在，急潮予報に関する定点観測システムはほぼ確立されている。急潮警報が発せられてから1日～2日後に定置網へ急潮が到達するために，「箱網」や「運動場」を撤去することにより網自体の破網防止と低減を図っている。しかしながら，急潮の影響がどのように伝播していくかを面的に把握する手段が無く，実体を把握できていない状況にある。

c) 急潮の影響把握における活用シナリオ

- ① 2002年11月27日，神奈川県水産総合研究所より「急潮警報」の発令（図-4）

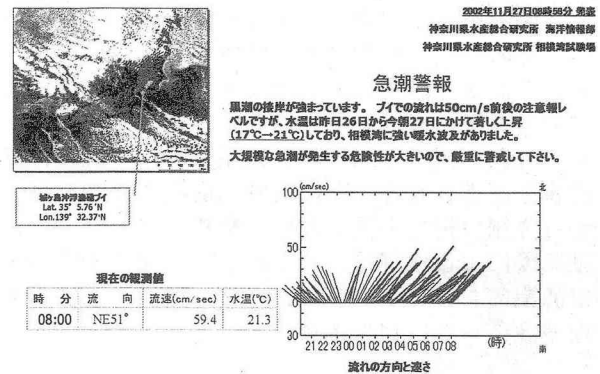


図-4 急潮警報の発令とブイの観測データ

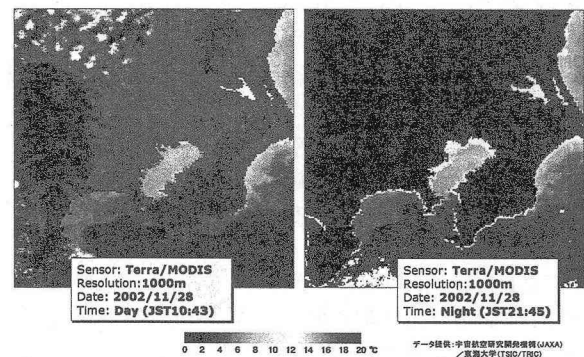


図-5 MODISデータによる広域的な水温変動の把握

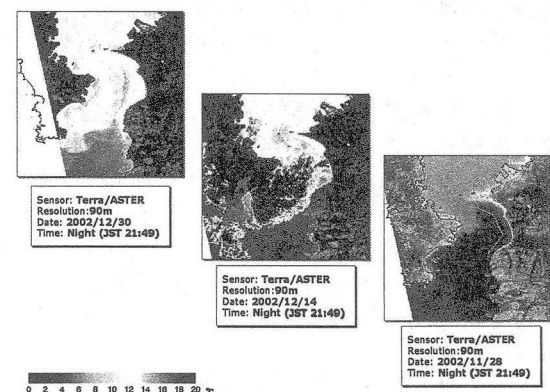


図-6 ASTERデータによる時系列変化の把握

- ② MODISデータを用いて，浮礁ブイの位置と観測データを確認（図-4）
- ③ 急潮警報の翌日に，連続的に観測されたMODISデータを用いて，黒潮系急潮による広域的な水温変動を把握（図-5）
- ④ MODISデータと同期観測されたASTERデータを用いて，東京湾口部における黒潮系急潮の影響範囲を詳細に把握するとともに，急潮による水温変化を時系列で把握（図-6）
- ⑤ 黒潮系急潮による漁業被害（定置網の破損等）予測，定置網の設置場所や設置角度の検討のための支援情報を提供
- d) 活用シナリオの照査
活用シナリオを作成した後，想定しているユーザ

に照査を実施し、利用ニーズに対する整合性を評価した。その結果、急潮による影響把握では、相模湾における黒潮の暖水波及の過程が捉えられれば、すぐにでも実用化したいという高い評価を受けた。つまり、現在の観測体制下でも衛星データと既存の警告情報を連携させることにより、海面現象の広域監視から詳細分析を実現したいと解釈できる。今後、実証実験による検証は必要となるが、定置網漁業や養殖漁業における水温管理といった観点から、資源管理型漁業への応用も期待できる状況と判断できる。

5. まとめ

本研究では、2種類の衛星データを用いた実用的な水温推定手順と沿岸環境監視における衛星データの効果的な活用方法を提案した。主な研究成果は以下の3点に集約される。

- (1) ASTERデータの場合、熱赤外センサの感度劣化を補正したデータから水温情報を作成した後、オフセット補正を施すだけで、実用的な水温情報が得られる。
- (2) 定常的な監視はMODISデータに任せ、漁業資源に甚大な影響を及ぼす現象の発生前後にASTERデータが連続的に観測される体制が強く望まれる。
- (3) 同一時間帯に空間スケールの異なる2種類の衛星データを入手できるため、海面現象の全体的な把握から詳細分析まで可能である。

衛星データを用いた沿岸環境監視では、マクロな視点とミクロな視点で継続的にデータを蓄積することにより、環境変動や人間活動に伴う自然環境への影響が把握可能となる。今後、衛星データが一層利用されるためには、観測頻度の向上とデータ提供の体制整備、とりわけ衛星データの入手から配信までの迅速性が鍵といえる。本研究の成果が衛星データの普及・啓蒙に止まらず、実用化の技術開発に何らかの形で寄与できれば幸いである。

謝辞：本研究は、平成15年度石油資源遠隔探知技術の研究開発「ASTERデータを用いた沿岸環境モニタリング手法の実用化に向けた研究開発」の成果の一部である。資源・環境観測解析センター（ERSDAC）の関係者を含め、関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 久野正博：沿岸カツオひき縄漁業への衛星情報の利用，水産海洋研究，Vol. 64，No. 4，pp. 279-281，2000。
- 2) 「宇宙から見た雨」編集委員会編：宇宙から見た雨（熱帯降雨観測衛星4年間の軌跡），Japan Advance Plan Co., Inc., 2002。
- 3) 増田紳哉：日本海西部まき網漁業等への衛星情報提供の紹介，水産海洋研究，Vol. 64，No. 4，pp. 281-283，2000。
- 4) 中村元彦：衛星画像情報を利用したシラス漁況の予測，水産海洋研究，Vol. 64，No. 4，p. 279，2000。
- 5) 二平章，郡司博，大坂栄治，蔭山邦幸，山脇弘一，松

- 村卓月：太平洋北部まき網漁業への衛星画像情報の提供システム開発，水産海洋研究，Vol. 64，No. 4，pp. 283-284，2000。
- 6) 中園博雄，久保治良：衛星画像情報からみた常磐・鹿島灘の海況，水産海洋研究，vol. 64，no. 4，pp. 276-277，2000。
- 7) 水産海洋学会編：水産試験場における衛星情報の取り組み，水産海洋研究，vol. 65，no. 1，pp. 31-33，2001。
- 8) 高杉知：岩手県における衛星情報利用総合システム，水産海洋研究，vol. 64，no. 4，pp. 286-287，2000。
- 9) T. Kameda, J. Ishizaka, H. Murakami: Two-phytoplankton community model of primary production for ocean color satellite data, Proceedings of SPIE, Vol.4154, pp. 159-165, 2000。
- 10) 丸山修治，坪田幸雄，竹田義則：リモートセンシングを利用した湧昇流確認調査，開発土木研究所月報，No. 569，pp. 21-32，2000。
- 11) 水鳥雅文，坂井伸一，仲敷憲和：温排水モニタリングへのLANDSAT衛星の適用性，電力中央研究所報告，pp. 1-48，1991。
- 12) 栗原幸雄：リモートセンシングデータを用いた日本近海日別海面水温解析，測候時報，Vol. 67，pp. 11-15，2000。
- 13) 安田宏明，白川嘉茂：静止気象衛星データを用いた海面水温算出方法の改良，気象衛星センター技術報告，Vol. 37，pp. 19-33，1999。
- 14) 川村宏：日本画像データベース（気象学におけるインターネット），天気，Vol. 42，No. 6，pp. 347-354，1995。
- 15) 可知美佐子，柴田彰，村上浩：TRMMによる海面水温観測（総特集 熱帯降雨観測衛星-TRMM），海洋，Vol. 31，No. 6，pp. 348-353，1999。
- 16) 渡辺知弘，塚本 修：衛星による瀬戸内海の海面水温の水平分布と季節変化（日本画像データベースによる評価），しづかわ，Vol. 18，pp. 3-10，1997。
- 17) 海洋科学技術センター横浜研究所情報業務部情報業務課編：JAMSTEC Report 黒潮が日本周辺の気候に与える影響を衛星観測データから発見 海面水温が海上風の強さに影響することを明らかに，Blue earth，Vol. 15，No. 2，pp. 22-25，2003。
- 18) 久保田雅久：衛星海面水温データと熱帯不安定波（総特集 熱帯海洋変動 - 物理・化学・生物の視点から），海洋，Vol. 34，No. 5，pp. 348-352，2002。
- 19) 石戸谷博範：定置網の新技术—相模湾における急潮とその予報・防災システム（特集 漁業の新技术），らん，No. 59，pp. 14-21，2003。
- 20) H. Tonooka, F. Sakuma, M. kudoh, and K. Iwafune: ASTER/TIR onboard calibration status and user-based recalibration, Proc. of SPIE, Vol.5234, 2004(in press)。
- 21) 松永恒雄：ASTER TIRの観測輝度温度の線形式を利用した水面温度推定—日本周辺の気温及び湿度データを用いた推定誤差の予備評価—，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 16，No. 5，pp. 2-13，1996。
- 22) A. Gillespie, S. Rokugawa, T. Matsunaga, J.S. Cothren, S. Hook, and A. B. Kahle: A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.36, No.4, pp.1113-1126, 1998。