

9. マングローブ分布域の抽出精度向上に関する研究

ーメコンデルタ・チャオプラヤデルタ・石垣島を対象としてー

桑原 祐史^{1*}・田中健太²・横木 裕宗³・金 鎮英⁴・石内鉄平⁵・小柳武和³・三村 信男¹

¹茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)

²株式会社 建設技術研究所 水工部 (〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

³茨城大学 工学部 都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)

⁴東京大学 大学院 工学系研究科 水環境制御研究センター (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

⁵茨城大学 イノベーション創成機構 VB部門 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)

* E-mail:kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書によると、海面上昇、熱帯低気圧の強度増加、高潮氾濫の危険性等、低平地が直面する多くの課題が指摘されている。これらの影響による災害の減災を目的とした適応策を考える上で、マングローブは重要な資源の一つとして注目されている。このため、著者らは、既存のマングローブ分布域の調査資料を参照の上で簡易に分布域を把握するための手順について検討を進めてきた。しかし、陸域内部に散在する水田や水路とその近傍等、マングローブの分布する沿岸部の土地被覆特性に類似した地域では抽出精度の点で課題が残されていた。そこで、本研究では海底地形の傾斜を推定し、潮位データに基づく潮間帯域を推定し、沿岸域の地形特性から分布域を再抽出する方法を検討した。結論として、既存のマングローブ分布域抽出の手順に、提案する再抽出方法を組み込むことにより、メコンデルタにおける抽出精度が向上することを確認した。加えて、チャオプラヤデルタおよび石垣島に対する検討を通して、提案する手順の効用と限界を考察した。

Key Words : climate change, mangrove, monitoring, satellite image

1. はじめに

気候変動の影響により、世界の平均海面が21世紀末までに0.18~0.59cm上昇することが予測されている¹⁾。そのうち、WG-2 報告書では、アジアの人口密集地の一つであるデルタ地帯等低平地において、海面上昇・海洋および河川からの洪水による大きな被害が増加することが予測されている¹⁾。これらの地域には、堤防や護岸といった社会基盤が十分に発達していない地域も多く、土地に根付いた伝統的技術や資源を活かした適応策を講じて行くことも重要である。この観点から、近年、マングローブが注目されている²⁾。熱帯・亜熱帯の潮間帯に生育するマングローブは、波浪減衰作用や海岸侵食に対する防護林としての機能を有するという指摘があるとともに³⁾、そこに生活する人々が食料生産や経済活動の恩恵も受けていることが報告されている⁴⁾。

このような中、著者らは、現地調査が広領域に渡りかつ困難である点を考慮し、衛星画像の援用による簡易な

マングローブ分布域抽出手順を提案した⁵⁾。この研究では、短波長赤外域を観測対象としているEOS-Terra/ASTERを分析のための衛星画像として選定し、バンド間演算による新たな指標を提案するとともに(以下、提案指標と記述する)、潮間帯における土地被覆の特性(植生・土壌・水分量)に注目した分布域再抽出法を提案し、抽出効果を検討した。既存のマングローブ分布域調査資料⁶⁾(以下、マングローブアトラスと記述する)および高解像度画像(Google Earth)との比較・検証の結果、概ね良好な抽出結果が得られたものの、水田や水路とその近傍では誤抽出された領域が見受けられた⁵⁾。

そこで、本研究では、上記の課題に対応するために、浅海域から海岸線までの海底地形勾配を推定し、潮位データを基に潮間帯を推定、地形特性の観点からマングローブ分布域を再抽出する方法を新たに検討した。既存研究の分布域抽出手順に対して、新たに本研究で提案する再抽出方法を組み込んだ分布域抽出手順の汎用性を検討するために、メコンデルタに類似した地形条件を有する

チャオプラヤデルタに対する適用効果を検証するとともに、海底地形が大きく異なる石垣島も検討対象に加え、提案する手順の効用と限界を示すことを目的とした。

2. 研究の着目点

既存の研究では、次の3点を研究の着目点とした⁵⁾。

①図-1に示すように、マングローブの分析には、田および畑と比較すると太陽光の反射特性に違いが見受けられる短波長赤外が有効である。②統計量に基づく画像分類やレベルスライス法による分析が行われているが、広領域を対象とした処理効率を考慮に入れると、提案指標に基づく分布域抽出の手順の効用が伺えた。③マングローブ種の区分まで言及するものではなく、あくまでも分布域の区分を対象とした。

これらの着目点に基づき、式-(1)に示す指標を提案するとともに(短波長赤外としてEOS-Terra/ASTERのバンド5, 6, 7を使用)、正規化水指標(NDWI)および正規化土壌指標(NDSI))を利用し⁷⁾、植生(マングローブ)、水および土壌、三つの観点から、指標によって導いた分布域をマングローブの生育特性に着目して再度抽出する手順を検証した。分布域の推定結果を既存のマングローブアトラス⁸⁾および高解像度画像(Google Earth)と比較することにより、概ね良好な抽出結果が得られた。しかし、水田や水路等、太陽光の反射特性がマングローブ分布域と類似している地点では誤抽出される領域が見受けられた。そこで、本研究では、マングローブが潮間帯上部に分布する地形特性に着目した⁴⁾。

$$C_n = \frac{B3 - \overline{SWIR}}{B3 + \overline{SWIR}} \quad \dots \text{式(1)}$$

但し、B3: EOS-Terra/ASTERの近赤外波長(Band3)。

$\overline{SWIR}$: 短波長赤外データの平均。

$$\overline{SWIR} = \frac{1}{3} \sum_{n=5}^7 DN_n \quad (n: \text{ASTER-バンド})$$

※上記は既存研究での提案式である。本研究では、該当するバンドの地表面反射率(%)を使用した。

衛星画像は、ヘッダ情報に撮影日および観測時間を含む。このため、衛星観測の瞬時値による海岸線は、潮位データとの比較により補正することができる。そこで、本研究ではハワイ大学海面センター(UHSLC: University of Hawaii Sea Level Center)のhourlydataおよび気象庁観測の潮位データを入手するとともに、海図に描画された水深データを取得し、海底勾配から最高潮位面を推定し、マングローブ分布域の地形的限界を求めた。

全球を対象として、分布域推定プロセスを汎用化させるためには、ETOPO2等のデジタル形式の海底地形データの利用が有利であるが⁹⁾、メッシュサイズが2分メッシュと粗く、特に浅海域でのデータ利用には限界があった。このため、アナログで整備された海図および数値地図500万(総合)¹⁰⁾の等深線を採用し、検討を進めた。

本研究では、マングローブ分布域抽出結果の良否を判断する際に高解像度画像(Google Earth)を用いた。着眼を変えるならば、この高解像度画像を利用して直接分布域を抽出することも考えられる。しかし、均質な抽出精

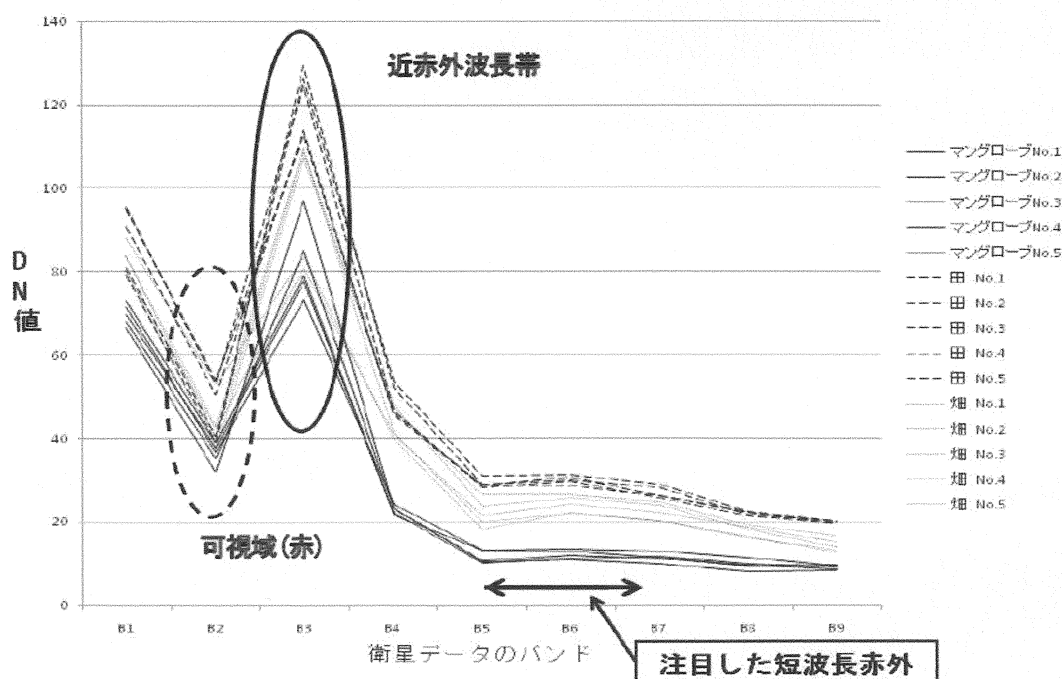


図-1 田、畑およびマングローブ分布域を対象としたDN値分布特性⁵⁾

度を撮影時間等観測条件が示されている衛星画像面で確保すること(均質性), 近赤外や短波長赤外といったマングローブ分布域を含む植生に関する物理的な特徴を活かした抽出手順を経ること(客観性), 簡単な演算処理に基づく簡易な分布域抽出処理(簡便性)といった点で, 本研究で提案する方法の特徴と有用性があると考え, 衛星画像の処理/解析に基づく検討に注目した。

3. 対象領域および使用データ

(1) 対象領域

本研究では, 3つの対象領域を設定した。まず, 地形特性に着目したマングローブ分布域の再抽出方法を提案し, その効果を確認するため, 既存研究と同様のメコンデルタ地域を選定した(図-2)。次に, 提案方法の効用と限界を確認するために, 図-3に示すチャオプラヤデルタを選定した。この領域は, メコンデルタ同様にチャオプラヤ川河口に広がる広大なデルタ地帯であるとともに, 浅海域が広がる同種の地形特性を有している。加えて, 図-4に示す石垣島を選定した。石垣島はサンゴ礁が分布する島であり(裾礁), 島周囲の海底勾配はデルタ地帯と比較すると急である。この影響が再抽出に与える影響を確認するために領域として選定した。

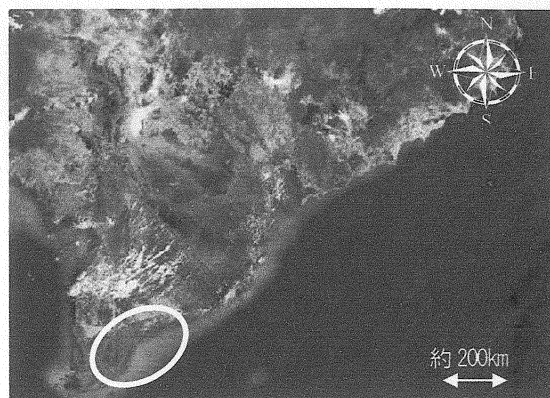
(2) 使用データ

短波長赤外域が観測対象になっている点を考慮し, 衛星画像としてEOS-Terra/ASTERを選定した。観測日は出来る限り同一または近日であることが望まれるものの, 網羅的にデータ検索を行った結果, 数カ月の異なりを許容せざるを得なかった。このため, 複数の観測日のデータを接合して処理する必要が生じた。このことから, 大気条件の違いが解析に与える影響を低減させることを目指し, 大気補正が施された2B05プロダクツを選定した。また, マングローブは種によっては乾期に落葉するものもあるが, 多くの種は常緑であるため, 沿岸域の被覆が良好に観測されている雲量の条件を重視した。メコンデルタは12月~2月の乾季を対象とし, チャオプラヤデルタは11月~3月の乾季から暑期, 石垣島は7月の暑期を選定した。データ観測日の詳細は表-1に示す通りである。

4. 地形特性に注目した分布域再抽出方法

(1) 海岸線の抽出

一般的に, 近赤外波長より長波長の太陽光は水域における吸収が大きいことが知られている。このため, 地球表面からの反射光を取得した衛星画像では, 近赤外より長波長になるほど水域の反射率が低く観測され, 水域と陸域の区分に適している¹⁰⁾。そこで, 本研究では, 提案指標によって抽出されたマングローブ分布域の調整に用



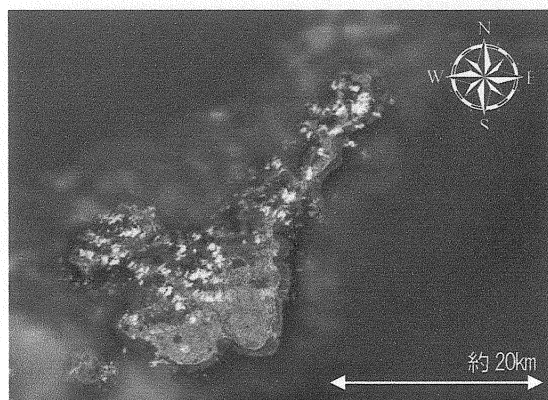
北緯:10° 45' 東経:106° 40' (Ho Chi Minh) 気候:熱帯

図-2 メコンデルタ ((C)2010 Google)



北緯:13° 44' 東経:100° 35' (Bangkok) 気候:熱帯モンスーン

図-3 チャオプラヤデルタ ((C)2010 Google)



北緯:24° 20' 東経:124° 09' (島中央部) 気候:亜熱帯海洋性

図-4 石垣島 ((C)2010 Google)

表-1 使用データ一覧

	観測日	補正レベル			観測日	補正レベル	
メ コ ン	2002/2/13	2B05V	2B05S	チャ オ プ ラ ヤ	2000/11/1	2B05V	2B05S
	2002/10/11				2003/12/29		
	2002/10/11				2004/3/2		
	2004/12/12						
	2004/12/12						
	2004/12/12			石 垣 島	2007/7/22	2B05V	2B05S

注)2B05V:可視-近赤外データ, 2B05S:短波長赤外データを示す。

いるため、近赤外波長の衛星画像の閾値処理（本研究では地表面反射率20%前後を選定）を試行検討し、水域と陸域の区分を試みた。具体的には、陸域と水域の境界部の断面プロファイルを作成し、両者を区分する目安となる地表面反射率の値を選定し、その値を閾値として陸域および水域の2値化画像を作成した。この画像と衛星画像を重ねて表示することで閾値の良否を検証し、最終的に地表面反射率20%前後の数値を選定することで海岸線を決定した。結果を図-5(1)に示す。しかし、図から分かるように、陸域に分布する水田や用水路等が水域として残された。これらの点の除去については、海域を含む水域が切れ目なく連続している領域を探索処理により抽出し、陸域に散在する誤抽出された領域（水田や水路等）を除外した¹⁰⁾。図-5(2)に結果を示す。図の中で、水域と陸域の境界部を海岸線とした。

(2) 最高潮位面の算出

検討に先立ち、メコンおよびチャオプラヤデルタの潮位データをUHSLCのhourlydataの近傍観測地点で代表させ（メコン：Vung Tau, チャオプラヤ：Ko Lak）、石垣島は気象庁の年間データで代表させた。対象領域によって衛星観測日は2002年～2007年に渡るため、潮位データは中間年の2004年で代表させた。衛星画像の観測時間は、各領域のローカルタイムで約AM10:30である。このため、hourlydataから求める衛星観測時間の潮位データは、AM10:00とAM11:00の平均とした。表-2に各領域の潮位データを整理する。

収集した潮位データを基に、最高潮位時の海岸線を求めた。図-6に、最高潮位の海岸線抽出の概念を示す。海底地形は、穏やかに地形が変化するデルタ地帯であることを考慮し、一次式で近似させた。図-7(1)にメコンデルタの海底地形勾配の計測線を示す。この計測線位置における海底地形の傾きを算定した。検討の結果、メコンデルタの傾きは「-0.0003～-0.0004」となった。既存研究におけるデルタ地帯の地表面の勾配は3/10万～5/10万という報告がある⁴⁾。この勾配は地表面のものであり、海底地形のみを対象とした本研究の結果はやや急な結果となっている。しかし、潮位面のみを考慮した最高潮位時の海岸線は400kmを超える陸域内部と計算でき、概ね水平に近い地形特性を近似表現しているものと判断した。続いて、表-2より最高潮位と撮影時潮位の差を求め、前述の係数（海底地形の傾き）で除することにより最高潮位時の海岸線位置を推定した。図-7(2)、図-7(3)に、チャオプラヤおよび石垣島の海底地形勾配の計測線を、表-3に、各領域の海底勾配推定式と求めた最高潮位時の海岸線位置を示す。なお、地形特性による過度な分布域再抽出処理が行われないよう考慮し、分布域が大きく捉えられる最大値（表中太線で示す）を採用することとした。

メコンデルタおよびチャオプラヤデルタは、浅海域

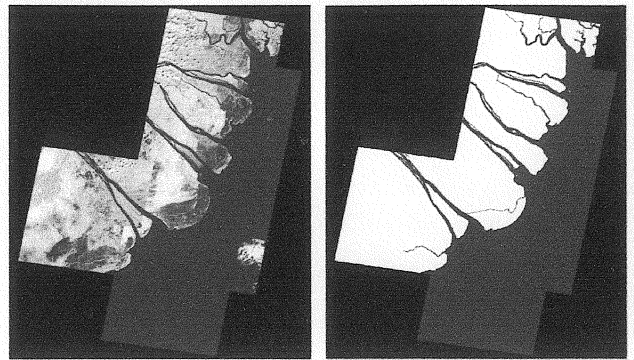


図-5(1) 閾値処理のみ 図-5(2) 誤抽出域処理後
図-5 閾値処理による海岸線抽出（白：陸域，黒：水域）

表-2 収集した潮位データ

対象領域	最低潮位	最高潮位	平均海面	撮影時潮位
メコンデルタ	0.240	4.150	2.703	2.285
チャオプラヤデルタ	1.190	3.960	2.565	2.553
石垣島	0.450	3.000	1.834	2.171

注) 潮位の単位：(m)

表-3 海底勾配推定式と最高潮位時の海岸線位置

対象領域	計測線No.	潮位差と海岸線位置の関係	潮位差	海岸線位置
メコンデルタ	No.1	$y = -0.0004 * x$	-1.865	4662.5
	No.2	$y = -0.0004 * x$	-1.865	4662.5
	No.3	$y = -0.0004 * x$	-1.865	4662.5
	No.4	$y = -0.0003 * x$	-1.865	6216.7
チャオプラヤデルタ	No.1	$y = -0.0002 * x$	-1.407	7035.0
	No.2	$y = -0.0002 * x$	-1.407	7035.0
石垣島	No.1	$y = -0.0021 * x$	-0.829	394.8
	No.2	$y = -0.0122 * x$	-0.829	68.0
	No.3	$y = -0.0029 * x$	-0.829	285.9
	No.4	$y = -0.0043 * x$	-0.829	192.8
	No.5	$y = -0.0235 * x$	-0.829	35.3

注) 海岸線位置は、衛星観測時の海岸線から陸域内部への距離を示す。

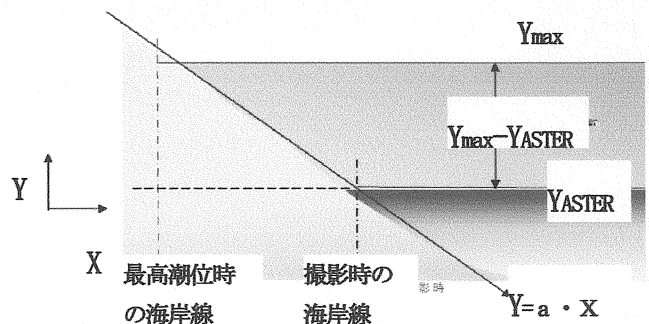


図-6 最高潮位時の海岸線抽出の概念

が広く連続しているため、計測線選定位置の違いによる勾配のばらつきは小さかった。一方、裾礁である石垣島ではばらつきが大きかったため、本研究では計測線を多く設定することで対応し（5本）、海岸線位置の最大値で最高潮位時の海岸線を代表させた。この点については、海底地形勾配の違いによりアダプティブな海岸線設定を行う方法も考えられ、今後の課題としたい。

(2010. 3. 26 受付)

(2010. 6. 27 受理)

Research on Improvement of Extraction Accuracy intended for Mangrove Area
- Mekong Delta, Chao Phraya Delta and Ishigaki island -

Yuji KUWAHARA¹, Kenta TANAKA², Hiromune YOKOKI³, Jinyoung KIM⁴,
Teppei ISHIUCHI⁵, Takekazu KOYANAGI¹ and Nobuo MIMURA³

¹Dept. of Urban and Civil Engineering, Ibaraki University

²CTI Engineering Co., Ltd.

³Center for Water Environment Studies, Ibaraki University

⁴Institute for Global Change Adaptation Science, Ibaraki University

⁵Organization for Creation of Collaboration and Innovation, Ibaraki University

The objective of this study is to improve of the extraction accuracy of mangrove area, Southeast Asia. Global warming and sea-level rise are projected to affect seriously on low-land area. Recently, the mangrove forest is important to decrease the damage which is received from storm surge and sea-level rise. Therefore, it was proposed that the extraction method of mangrove area which is combined rationing method and re-extraction method based on the growth characteristic of mangrove. However, it was a problem that the low accuracy is caused in the area where the characteristic of land cover was similar to the tidal zone. Then, in this study, we proposed the method of correcting the distribution area by analyzing geographic features for the tidal area.