

EOS-Terra/ASTERを用いた  
マングローブ域抽出に関する研究  
—ミャンマー沿岸域を対象として—  
A Study on extraction of mangrove area  
in Myanmar coastal zone by using EOS-Terra/ASTER  
—Focused on the Myanmar coastal zone—

山崎 正稔\*・石内 鉄平\*\*・桑原 祐史\*\*\*  
Masatoshi YAMAZAKI and Teppei ISHIIUCHI and Yuji KUWAHARA

**要旨:** 近年, 地球温暖化による海面上昇, 高潮, 台風やサイクロンによる被害の増加が懸念されている。これらの影響による災害の減災を目的とした適応策としてマングローブが注目されているが, 過伐採や植林などにより急速な分布域の変化が問題となっている。モニタリングによって分布域変化の把握が課題となっているが, 分布域の広域性や多様な生物が生育する潮間帯に生育するため, 急速な変化を広域に渡り捉えることの難しさが問題となっている。本研究では, この問題点と水分量に対して特長的な反応をする短波長赤外の衛星データに着目し, 桑原ら(2010)の手法で課題とされていた沿岸域の地形特性(山地等)への対応とその適応効果について考察した。結論として, メコンデルタなどを対象とした桑原らの手法を改良し, 沿岸域の山地に対応したマングローブ域抽出手順を提案, その適用効果を検証し, 新たな手順を提案した。

**キーワード:** マングローブ, 潮間帯, 可視近赤外, 短波長赤外, EOS-Terra/ASTER

## 1. 序論

### 1.1 研究の背景

近年, 地球温暖化による海面上昇, 高潮, 台風やサイクロンによる被害の増加が懸念されている。ミャンマー連邦共和国(以下, ミャンマーと表記する)では, 平成20年5月, サイクロン・ナルギスにより多くの死傷者や被害が出た<sup>1)</sup>。その原因のひとつが防風・防波の役割を果たしていたマングローブ林の激減である<sup>2)</sup>。マングローブは, 近隣に生活する人々に生活に欠かせない様々な恵みを提供してきた<sup>3)</sup>。また, マングローブ林は海水

と淡水の入り混じる環境で生育することから, 強風や高潮から海岸線を守る海岸防災林の役割を持ち, 水産資源の涵養の場としての機能も備わっている。また, 資金調達が難しい発展途上国にとって, 自然物であるマングローブは防波堤建設などに比べ, コスト面でも安価であり有効的な海岸保護や侵食対策になりえる。ミャンマー環境保全森林省では技術者の育成を進め, 洪水農業に加え, マングローブ等を指標とした環境問題への取り組みに対する衛星利用の重要性を認識している<sup>2)</sup>。また, 現在行われているマングローブ分布域を確

\* 学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 都市システム工学専攻, \*\* 明石工業高等専門学校 都市システム工学科  
\*\*\* 正会員 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

認する手段として、マングローブアトラスによる確認、各種被覆情報などの地理情報、さらに、衛星利用の三つが主である。このような中、マングローブ分布域作成を目的とした場合、広域性・同時性・周期性に優れた衛星データの利用が有効である。既往研究における報告では、LANDSAT/TMの短波長赤外バンドを利用し陸域植生の区分を行った後、マングローブ樹種の区分に対し近赤外と短波長赤外バンドを用いることが有効であるとの報告がある<sup>4)5)</sup>。また、ASTER データを用い、NDVI（正規化植生指標）から植物の活性度の高い領域を抽出し、可視近赤外の各バンドの値（DN: Digital Number, 以下、DN 値とする）から分布を検討した例もある<sup>4)</sup>。以上を統合すると、衛星利用に注目が集まるなか、将来的に全球を対象として、高い更新頻度に即した簡易なマングローブ域の抽出法の提案が望まれている。

## 1.2 研究の目的

本研究では、気候変動による海面上昇や高潮、台風、サイクロンによる被害を推定し、適応策提案に結びつけるために必要な地理情報として、衛星データからミャンマー沿岸部のマングローブ分布域を作成することを目的とした。その際に、マングローブ分布域の作成方法は、桑原らの方法を基本とした。ミャンマー西部沿岸域では低地と山地が隣接し混在する特徴がある。したがって、地形を考慮に入れた手順の改良を行うことで他地域への汎用性を検討することにした。具体的には、ミャンマーの地域性を考慮した潮間帯の抽出方法の改良とおよび低地と山地が混在する沿岸域の対応を工夫することを目的とした。以上の目的を踏まえた研究の流れを図-1 に示す。

## 1.3 研究対象地域

研究対象地域は、ミャンマーにおいてマングロ

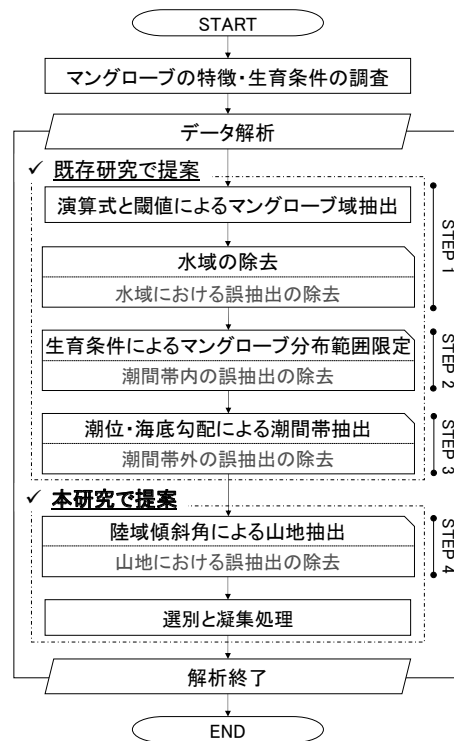


図-1 研究の流れ

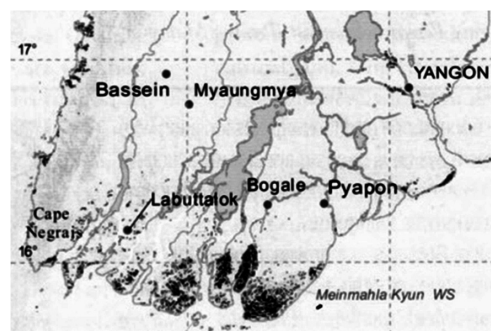


図-2 イーヤワディデルタのマングローブ分布<sup>6)</sup>

ープの植生が見られるとされるイーヤワディ川デルタ地帯(以下、イーヤワディデルタと表記する)とする。イーヤワディデルタのマングローブ分布図が現存する。マングローブアトラス(2010)を図-2 に示す<sup>6)</sup>。この図を、衛星データからの抽出結果の良否を判断する基準データとした。

## 2. 研究方法

### 2.1 衛星データ

本研究では解析データとして ASTER データを使用する。ASTER は EOS-Terra 衛星に搭載されている光学センサーである。解像度はバンドによって異なるが、高解像度のものは 15m であり、本論でのマングローブ域の精度は約 1/50,000 程度の縮尺を目途として議論し、広範囲に生育するマングローブ林などの抽出や解析への対応を目指す。また、マングローブのような蒸発散量の多い地物の抽出に適する短波長赤外 (SW) を計測している点に注目した。ただし、ASTER はセンサー故障のため、現在、SW の計測はされていないが、2014 年 8 月に打上げに成功した WorldView-3 では、解像度約 4m と ASTER より高い空間分解能での SW 観測が開始されているため、本研究の成果はそちらのデータを用いた研究への応用展開も望める。表-1 に使用データの一覧を示す。ASTER データの取得時期は、雲の影響を考慮し、乾季とされる 10 月中旬から 2 月中旬を中心に 7 時期のデータを用いた。

### 2.2 使用データ (地理情報)

陸域地形データとして SRTM<sup>7)</sup>、水深データとして ETOPO1<sup>8)</sup>、時間毎の潮位データとして UHSLC hourlydata<sup>9)</sup>、海岸線マスクデータとして SWBD<sup>10)</sup> を使用した。GIS データである SRTM, ETOPO1, SWBD の比較を表-2 に示す。これらのデータと ASTER データの各分解能の違いについて、オーバーレイした後に出力するデータを 90m とし、解像度を統一することとした。

## 3. ASTER 画像からのマングローブ域抽出

### 3.1 NDVI の算出

NDVI とは、マルチバンドデータから求められる植生の有無・多少・活性度を示す指標のひとつである。ASTER データより算出した対象地域の ND

表-1 EOS-Terra/ASTER データ諸元

No.	撮影日	分解能	レベル	雲量(%)
1	2002/1/4	15~30m	1B	1
2				10
3	2002/12/22			1
4				1
5	2003/1/23			14
6	2004/1/17			1
7	2004/1/19			3
8	2004/3/5			1
9				1
10	2004/12/20			1
11				1

表-2 各 GIS データ比較

名前	形式	仕様	分解能
SRTM	ラスタ	陸域標高	90m
ETOPO1	ベクタ	海域標高	約2km
SWBD	ベクタ	海岸線マスク	なし <sup>*</sup>

<sup>\*</sup>SWBD はベクタ形式のため解像度なし

表-3 各被覆における NDVI

	最小値	最大値	平均値
耕作地	-0.415	0.441	0.049
マングローブ	0.068	0.583	0.454

VI から耕作地とマングローブ域、それぞれ 5 箇所ずつをトレーニングエリアとして選定し、NDVI を利用してマングローブ域の抽出が可能か検証した。各被覆の指標値の分布を表-3 に示す。表-3 より、マングローブ域周辺に分布する耕作地とマングローブ域の指標値は類似した値であり、値の分布が被覆間で重複しているため、NDVI のみによってマングローブ域を抽出することは困難であり、抽出プロセスに工夫が必要であることが確認された。

### 3.2 分布域抽出生成の考え方

NDVI のみを利用した方法では、マングローブ

$$C_n = \frac{B3 - \frac{1}{3} \sum_{n=5}^7 n}{B3 + \frac{1}{3} \sum_{n=5}^7 n} \dots (1)$$

B3：バンド3 n：バンド5・6・7  
 (C<sub>n</sub>は-1～+1の値をとり，+1に近いほどマングローブの分布密度や活性度が高いことを示す)

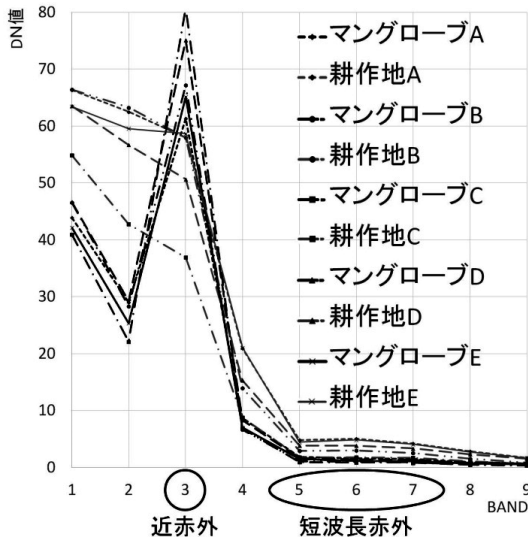


図-3 耕作地とマングローブにおける各バンドのDN値平均

域を抽出することが困難であるため、桑原らによって、メコンデルタ等を対象に提案された指標、マングローブ抽出指標 C<sub>n</sub> (式(1))を利用した。事前に、マングローブ域と耕作地の地表面反射率を比較した結果、両者の反射率に大きな違いがあることが確認できた。具体的には、マングローブ域と耕作地から各5地点を選出し、DN値を求めた。結果を図-3に示す。クロロフィルの影響によりマングローブ域のDN値が最も高くなるバンド3(近赤外)、マングローブの蒸発散に反応しマングローブ域と耕作地が安定して分類でき、かつ、バンド3とのデータレンジ差が大きいバンド5・6・7(短波長赤外)を利用できることがわかる。

表-4 設定した ASTER 閾値

No.	撮影日	閾値	
		最小	最大
1	2002/1/4	0.936	0.976
2			
3	2002/12/22	0.951	0.980
4			
5	2003/1/23	0.921	0.951
6	2004/1/17	0.926	0.959
7	2004/1/19	0.923	0.956
8	2004/3/5	0.931	0.965
9			
10	2004/12/20	0.936	0.976
11			

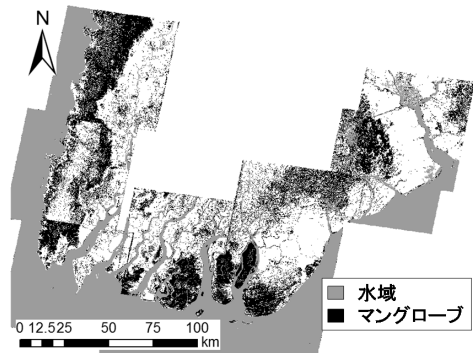


図-4 演算式による抽出処理と水域除去処理の結果 (図-2中 STEP1)

以上から、近赤外域と短波長赤外域のDN値を用い、式(1)に示す比演算式により計算するマングローブ抽出指標：C<sub>n</sub>の適応がミャンマーにおいて可能であることが確認できた。

### 3.3 演算式によるマングローブ域の抽出と水域除去処理

水域から誤抽出を取り除くため、水域データの作成を行った。一般的に、近赤外より長波長の光は水に強く吸収される特性があるため、近赤外より長波長のセンサを用いて得られた画像では陸域と水域の区別が付きやすい。そこで、本研究では、

細かい汀線近傍の地形特徴を抽出することを考慮に入れ、短波長赤外より解像度の高い近赤外データ (15m) を用いて水域の抽出を行った。処理に関しては、潮間帯を削り過ぎずに領域を除くことができる衛星データの閾値を試行により検討し (表-4)、二値化処理により水域を抽出した。水域、マングローブ域および陸域がオーバーレイされている結果を図-4 に示す (処理前: 1,809,797pixel, 処理後: 718,335pixel)。なお、閾値はマングローブ域と他の土地被覆の境界の DN 値から取得し、ASTER データの取得時期ごとに分けて決定した。図-4 より、この処理において主として海域や湾部近傍の水域における誤抽出はほぼ除去できたが、内陸部の水田・湖沼部といった湿地部近傍にもマングローブ域が点在しており、陸域においてデータ処理での対応が必要となった。

### 3.4 マングローブの生育条件による分布域の検討

この処理では、マングローブの生育条件に合致しないとされる陸域の誤抽出の除去を目的とした。そのため、マングローブの生育域である潮間帯の特徴に注目した。潮間帯は、植生、土壌、水域が混在する。そこで、NDVI・NDWI (正規化水指標)・NDSI (正規化土壌指標) を利用し、潮間帯におけるマングローブ分布域の特性を限定した。マングローブ分布域、耕作地の土地被覆ごとに各 5 か所トレーニングエリアとしてサンプルを抽出した結果、マングローブ分布域が示す範囲は  $0.25 \leq NDVI \leq 0.60$ ,  $0.35 \leq NDWI \leq 0.70$ ,  $-0.85 \leq NDSI \leq -0.50$  であった。本研究では、この条件を同時に満たす領域をマングローブ生育の条件とし、満たさない領域を削除した。抽出結果を図-5 に示す (処理前: 718,335pixel, 処理後: 451,763pixel)。

次に、海岸線からの地形形状に注目し、潮間帯

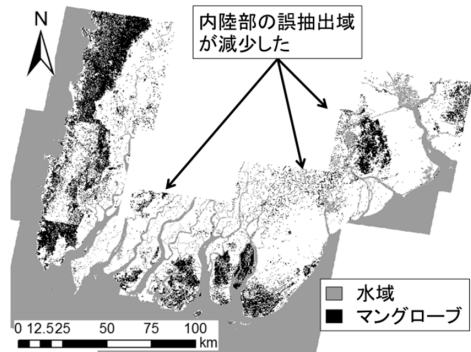


図-5 生育条件による処理を行った処理結果 (図-2 中 STEP2)

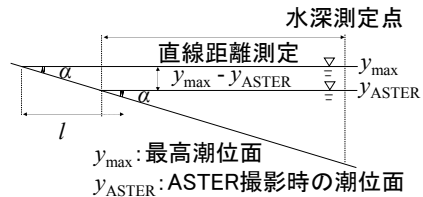


図-6 潮位と海底勾配による限定法

そのものを特定した。マングローブは、海水と淡水の入り混じる環境である潮間帯に生育する。そこで、海水が陸方向に浸入する限界線を推定することで抽出結果を生成できると考えた。対象地域の潮位データ (UHSLC hourlydata) から、最高潮位と ASTER データ撮影時の潮位を算出し、また、水深は ETOPO1 より算出した。その際に、図-6 に示す地形勾配法が必要となる。勾配は、沿岸に 5 本の測線を発生させ、ETOPO1 より計算した結果 0.011 度となった。ETOPO1 は約 2km メッシュの水深データであるため、推定した勾配は概略値であることは否めない。しかし、デルタ地帯の地形が平坦 (内陸 100km まで標高差 5m 以内) であるため、概ね妥当と考えた。この点について分解能が約 2km の ETOPO1 を使い、境界を数値で議論することには限界があるが、海外を対象とした解析において全球を同一基準で整備したデータは

数少なく、傾斜面での解析精度向上は今後の課題としたい。以上の方法により、作成した水域データから内陸側に 4,600m 以内の範囲をマングローブ生育領域 (図-6 中 I: 潮間帯) とした。他の領域を削除した結果を図-7 に示す (処理前: 451,763pixel, 処理後: 236,208pixel)。

次に、マングローブ生育の条件を満たさない山地にも誤抽出が見られるため、SRTM を用いて作成した陸域の傾斜角から誤抽出の除去を行う。平地と山地を区別する際の閾値は農学と建築の分野の定義から決定した。まず、農地における最大傾斜角は放牧牛が傾斜地を自由に歩行できる範囲が斜面傾斜角 6 度であるため 6~12 度である<sup>11)</sup>。また、建築の分野においても傾斜角が 6~8 度以上になると安全性が失われ危険を伴うため、傾斜地用の基礎処理を行った後に構造物の建設を行う。よって、本研究では平地と山地の閾値を 6 度とした。傾斜角 6 度以上の誤抽出域を取り除いた結果を図-8 に示す (処理前: 236,208pixel, 処理後: 207,566pixel)。

### 3.5 選別と凝集処理

本研究で使用した衛星データの分解能は 15m~90m である。このため、90m×90m の矩形領域内の被覆が混在している場合に必ずしもマングローブ域でない地点が抽出される可能性がある。このため本研究では、マングローブ域抽出を目的とした研究であることから、領域としては小さすぎる孤立した領域の除去が必要であるため、選別と凝集処理<sup>※1)</sup>を行った。凝集と選別処理により分類画像のノイズを除去することができる。選別処理によって閾値のサイズにしたがって孤立したピクセル群を除去することができ、凝集処理によって分類後の類似性の高い隣接領域を接合して既存領域の空間的干渉性の向上が期待できる。選別の閾値を 9Pixel, 凝集の閾値を 3×3Pixel とし、その処理結

果を図-9 に示す。

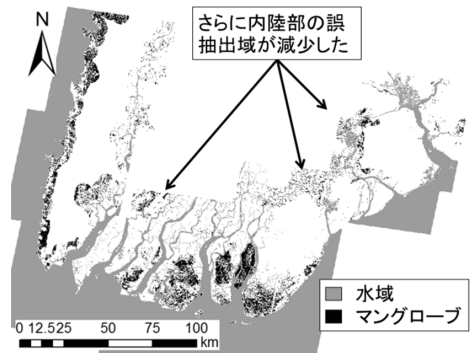


図-7 潮間帯を抽出する処理結果 (図-2 中 STEP3)

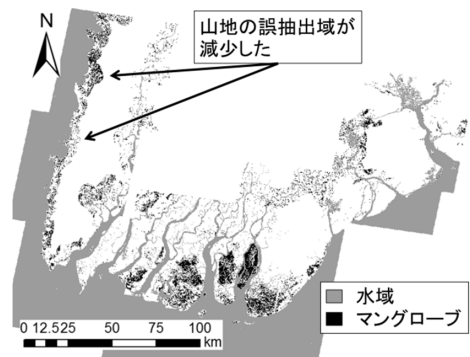


図-8 陸域傾斜角で抽出した山地を除いた処理結果 (図-2 中 STEP4)

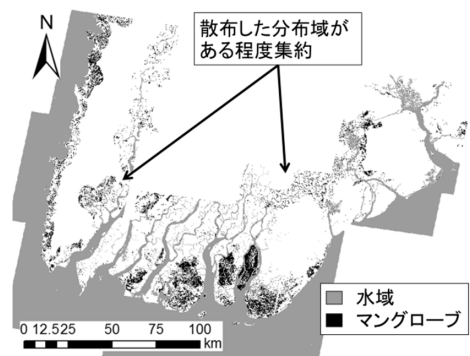


図-9 選別・凝集処理結果

### 3.6 抽出結果と考察

マングローブ域抽出結果 (2002-2004) とマングローブアトラス(2010), Google Earth(2013)との比較画像を図-10 に示す。また、図-10 における領域①と領域②の拡大図を図-11, 図-12 に示す。データ取得時期に差異はあるが、抽出処理結果はマングローブアトラスと概ね同等の抽出結果が得られたことが分かる。しかし、山地に対して平地と同条件での抽出処理を行ったため、既存研究のメコンデルタでは確認できなかった山地における誤抽出がみられた。よって、山地に対して傾斜角を考慮に入れた抽出処理が必要となった。また、イヤーワディデルタは干満差が約 5m もあり<sup>9)</sup>、平地では非常に平坦な土地が続くため<sup>7)</sup>、内陸の河川まで塩水であることを条件として潮間帯を抽出し、内陸部の誤抽出域除去を行った結果、マングロー

ブ域の抽出に精度向上が見られた。また、水域の通出や生育条件の導入、そして選別と凝集といった個別のデータ処理を組み合わせた本研究のマングローブ抽出プロセスは数値や閾値に依存するため、試行検討による最適値の導出が重要であった。

### 4. 結論

本研究を通して以下の三点の成果を得た。

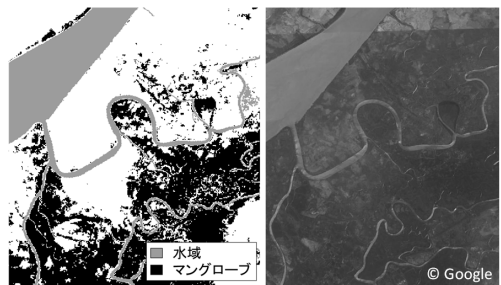


図-11 領域①における比較

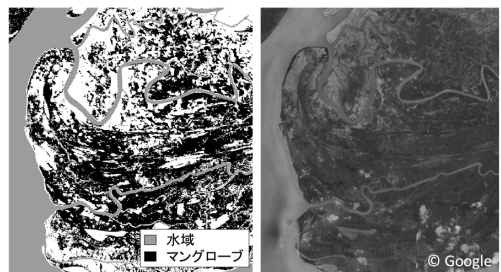


図-12 領域②における比較

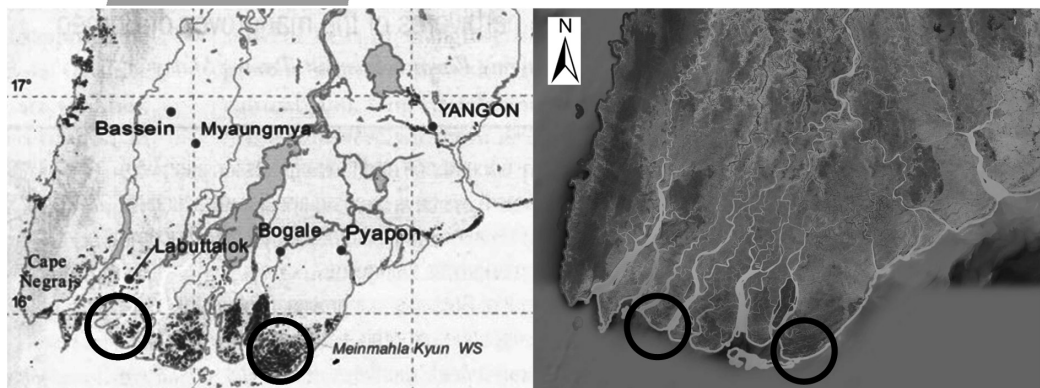
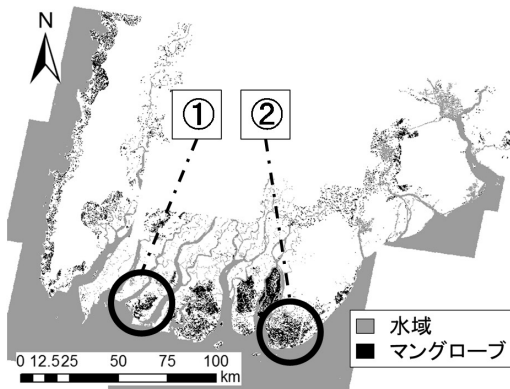


図-10 マングローブ域抽出結果 (上左)・マングローブアトラス (下左)・Google Earth (下右) の比較

- ① 式(1)で計算するマングローブ抽出指標に加え、西部沿岸域における低地と山地への処理プロセスを加えることによって、ミャンマーにおいても高精度にマングローブ域を抽出できることが確認できた。しかし、この手法は地域毎に閾値を試行検討し、最適値を導出する必要がある。この点について本研究では、空中写真や標高データ、土地利用図などを総合的に考慮し、閾値決定の方法を支援し、抽出精度の向上に繋げることができた。閾値選定を支援するデータを精査することにより適用効果と精度の向上を検討した。
- ② イーヤワディデルタは平地と山地が入り混じる複雑な地形を持つため、平地と山地で同じ生成法による抽出を行った場合、山地に誤抽出が多く見られた。その結果、陸域勾配を考慮し、山地の誤抽出を削除することで精度の向上が見られた。
- ③ イーヤワディデルタは内陸の支川部にも多くのマングローブが生育していることを考慮し、このエリアに対し、陸域の標高データと潮位から塩水となる海域エリアを、河口から内陸の河川まで探索させることで河川が内陸部まで入り組む潮間帯の変化に適応できることが確認された。

## 補注

### ※1 選別と凝集処理<sup>19)</sup>

凝集と選別により分類画像のノイズ除去をすることができる。通常はまず、選別処理を行い閾値のサイズ（ピクセル数）に従って孤立したピクセル群を除去し、次に、凝集処理を行って分類後の類似性の高い隣接領域を結合して既存のクラスの空間的コヒーレンシーを向上させることができる。

## 引用・参考文献

- 1) ジャパン・プラットフォーム、ミャンマー・サイクロン被害者支援：<http://www.japanplatform.org/programs/myanmar-cyclone/>，2015.8
- 2) 丸紅エアロスペース株式会社：インフラ・システム輸出促進調査等（ミャンマーにおける小型衛星インフラ・システム輸出調査）調査報告書，2012.
- 3) 海津正倫，平井幸弘：海面上昇とアジアの海岸，2001
- 4) 財団法人資源環境観測解析センター：資源・環境リモートセンシング実用シリーズ⑤地球観測データの利用(2)，pp.53-67，2005.
- 5) Y Kotera, M Ochi, M hato : Generation of seismic base mapping using satellite image in the southern deltaic area, people's republic of Bangladesh, Proceedings of the 18<sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing, 1997.
- 6) Mark Spalding, Mami Kainuma, Lorna Collins: World Mangrove Atlas, pp.118-121, 2010
- 7) アメリカ地質調査所 (USGS) : <http://dds.crr.usgs.gov/srtm/>，2015.2
- 8) NOAA ETOPO1 Global Relief Model, <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>，2015.2
- 9) UHSLC : <http://uhslc.soest.hawaii.edu/>，2015.2
- 10) アメリカ地質調査所 (USGS) : [https://dds.crr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SWBD/](https://dds.crr.usgs.gov/srtm/version2_1/SWBD/)，2015.2
- 11) 井出保行，小島誠，林治雄：傾斜放牧草地の地形と草地管理：1. 裸地と排糞の分布，日本草地学会誌 Vol.44(3)，pp.208-214，1998
- 12) 桑原祐史，田中健太：マングローブ分布域の抽出精度向上に関する研究，地球環境研究論



- 文集 Vol.18, pp.71-79, 2010
- 13) 桑原祐史, 田中健太: メコンデルタを対象としたマングローブ分布域の推定方法に関する研究, 地球環境研究論文集 Vol.17, pp.69-75, 2009
  - 14) Mark Spalding, Francois Blasco and Colin Field: World Mangrove Atlas, pp.75, 1997
  - 15) 大野勝弘: ミャンマー・エーヤワディーデルタにおけるマングローブ生態系の在地的管理に関する研究, 2007
  - 16) 田村正行: 短波長赤外バンドとデジタル標高モデルによるマングローブ林の抽出, 日本リモートセンシング学会誌 Vol.32, pp.221-231, 2012
  - 17) 竹内渉, 安岡善文: 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生, 土壌, 水指数の開発, 写真測量とリモートセンシング Vol.43(6), pp.7-19, 2004
  - 18) IPCC 第5次報告書
  - 19) EXELIS: ENVI チュートリアル マルチスペクトル分類

## 著者紹介

### 山崎 正稔 (学生会員)



茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻 (茨城県日立市中成沢町4-12-1), 平成3年生まれ, 平成27年3月茨城大学工学部都市システム工学科卒, 同年4月茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻入学, 土木学会学生会員.

E-mail: 15nm820y@vc.ibaraki.ac.jp

### 石内 鉄平 (非会員)

明石工業高等専門学校都市システム工学科 (兵庫県明石市魚住町西岡679-3), 2001年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 2003年同大学院修士課程修了, 2008年同大学院博士課程修了, 2008年博士(工学), 同年茨城大学産学官連携イノベーション創成機構非常勤研究員, 2010年明石工業高等専門学校都市システム工学科助教, 講師を経

て, 2014年より同校准教授, 現在に至る. 土木学会・日本都市計画学会・日本造園学会・日本リモートセンシング学会・環境情報科学センター・日本福祉のまちづくり学会・日本測量協会、各会員.

E-mail: ishiuchi@akashi.ac.jp

### 桑原 祐史 (正会員)

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター (茨城県日立市中成沢町4-12-1), 1992年東京理科大学理工学部土木工学科卒業, 1995年茨城大学工学部都市システム工学科助手, 講師, 准教授, を経て, 2015年茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター教授(センター長), 現在に至る. 博士(工学). 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本リモートセンシング学会, 地理情報システム学会, 環境情報科学センター, 地盤工学会, 各会員.

E-mail: yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

**A Study on extraction of mangrove area  
in Myanmar coastal zone by using EOS-Terra/ASTER  
—Focused on the Myanmar coastal zone—**

Masatoshi YAMAZAKI and Teppei ISHIUCHI and Yuji KUWAHARA

**ABSTRACT :** The objective of this study is to propose the mangrove distribution map in Myanmar coastal zone by using satellite remote sensing data based on the estimation method of mangrove area (Kuwahara et al. 2010). Global warming and sea-level rise are projected to affect seriously on low-land area. Therefore, recently, the mangrove forest is important to decrease the damage which is received from storm surge and sea-level rise. However, because of the mangrove forest distribution area decreases, it is thought that the monitoring becomes important to confirm the area. So we adopted this method to mangrove area extraction and verified the versatility of its method.

**KEYWORDS :** *Mangrove, Intertidal zone, Visible and near infrared, Short wavelength infrared, EOS-Terra/ASTER*