

光学衛星画像を用いた混合スペクトル解析に基づく浸水度の定量推定と SAR 画像を組み合わせた東北地方太平洋沖地震津波への適用

篠原崇之¹⁾、松岡昌志²⁾、リュウ・ウェン³⁾、山崎文雄⁴⁾

- 1) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻、修士課程
e-mail : shinohara.t.af@m.titech.ac.jp
- 2) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻、准教授
e-mail : matsuoaka.m.ab@m.titech.ac.jp
- 3) 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻、助教
e-mail : wen.liu@chiba-u.jp
- 4) 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻、教授
e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

要 約

洪水や津波による浸水被害を把握するために光学衛星データによる混合スペクトル解析 Spectral Mixture Analysis(SMA)により水占有率を算出し、浸水被害を定量的に評価した。さらにSMAによる水占有率と合成開口レーダの後方散乱係数の関係から換算モデルを構築し、光学衛星データの欠点を補間するためにSAR画像と組み合わせて浸水域の定量的な抽出を行った。はじめに、2011年タイ・バンコクの洪水被害について、Landsat-7 ETM+反射率画像に対してSMAにより水占有率を算出し、IKONOS衛星の高解像度画像を用いて精度検証を行った。同様に、東北地方太平洋沖地震後のLandsat-7 ETM+画像にSMAを適用して水占有率を求め、ALOS PALSAR画像との比較に基づき、後方散乱係数から水占有率を推定する回帰式を求めた。

キーワード： 洪水、津波、Landsat-7 ETM+、Spectral Mixture Analysis、後方散乱係数

1. はじめに

地球温暖化の進行により 21 世紀末にはアジアやアフリカの湿潤地域を中心に陸上の 42%で洪水リスクが増加するという予測が Nature Climate Change 誌に発表された¹⁾。またミュンヘン再保険会社の集計によると、近年に発生した主な水害は、2013 年において約 330 件である²⁾。水害の特徴として、他の自然災害と比べ極めて高頻度に発生する災害であるという点があげられ、洪水や台風以外に津波も低頻度ながら広域にわたり浸水被害をもたらすという特徴を持つ。

大規模な洪水、台風や津波のように浸水被害が広域にわたる場合には、面的かつ瞬時に情報収集ができるリモートセンシング技術が有効となる。一般的には画像情報から閾値を設定し、その値を境にして浸水域を抽出することが多い。水域では正規化植生指標 (NDVI) の値が低くなる特徴を用いて、災害前後の衛星画像から得られる NDVI の比較に基づく方法³⁾や、合成開口レーダの後方散乱係数の変化から閾値を見つけ出す方法⁴⁾などが挙げられる。また、災害前後の画像比較に基づいた方法の他に、合成

開口レーダの後方散乱係数と土地被覆の関係を現地調査から求め、浸水域の閾値を設定する手法もある⁵⁾。これらの先行研究における浸水域抽出手法では、浸水域か否かの情報は得られるが、定量的な浸水評価（画像のピクセル内の浸水面積や浸水の曖昧さなどの評価）ができないという欠点がある。また、一般的に災害発生時は緊急観測等によって被害地域を優先的に撮影するため、災害後のデータが多数得られる。しかし、同じ観測条件の災害前のデータが必ずしも揃っているわけではなく、災害前後の画像比較に基づいた浸水域の抽出が出来ないこともある。災害発生後の衛星データしか取得できなかった場合に、そのデータを活用して浸水評価をすることが重要となる。

そこで本研究では、オーストラリアの洪水による浸水域把握に係る既往研究⁶⁾を参考にして、災害発生後に撮影された衛星画像から、各ピクセルにおける浸水の割合がピクセル内の水占有率という連続値の情報として得られる混合スペクトル解析（Spectral Mixture Analysis: SMA）を、2011年タイ洪水と東北地方太平洋沖地震津波を観測したLandsat-7 ETM+画像に適用して浸水度（水占有率）を定量的に評価する。また、天候の影響を受ける光学衛星画像の欠点を補うため、SMAにより得られた水占有率と東北地方太平洋沖地震後に被災地を観測した合成開口レーダの後方散乱係数の関係に基づき、後方散乱係数から水占有率への換算モデルを構築し、SAR画像から津波浸水域を定量的に把握することを目的とする。

2. 混合スペクトル解析(Spectral Mixture Analysis: SMA)

地上解像度が比較的粗い衛星画像内には純粋な土地被覆のみで構成されたピクセルだけではなく、ひとつのピクセル内に様々な土地被覆（エンドメンバー）が混在しているミクセルが生じるという問題がある。このミクセル問題を解決するための手法のひとつとして、可視域から中間赤外域の情報を持つマルチスペクトルの衛星データを利用したSMA⁷⁾があり、画像の各ピクセルのスペクトル情報についてミクセル分解し、ピクセル内の様々なエンドメンバーの占有率等を求める手法である。この手法は衛星のセンサで観測された地表からの反射率は、ピクセル内に存在するエンドメンバーの反射率を線形的にたしあわせたものに等しいという仮定に基づいている。広帯域のスペクトル情報を用いたほうが高精度なSMA結果を得やすいため、バンド数が少ない画像には不利な手法である。そこで、本研究では可視域から中間赤外域の多数のバンドを有するLandsat-7 ETM+画像を使用した。この画像は、USGS Landsat Climate Data Records (Landsat CDR) として無償で提供されており、データセットには海、雲、雲影等のマスク情報も含まれている。

本研究におけるSMAの手順は、まず、Landsat-7 ETM+画像の反射率情報についてノーマライズ処理をし、その後、エンドメンバーの選定と反射率スペクトルを算出する。そして、このエンドメンバーの反射率スペクトルに基づき画像内すべてのピクセルについて各エンドメンバーの占有率を線形混合モデルにより推定する。

2.1 ノーマライズ処理

同じ土地被覆内に明るさの変動があるとミクセル分解する際に悪影響が出る。そこで、SMAの解析精度を高めるために、Landsat-7 ETM+反射率画像に対して、式(1)、(2)に示すノーマライズ処理を行った⁸⁾。これにより、明るさの変動を抑えつつ地表からの反射率の情報を活かしながら、スペクトルの形状を強調することが可能になる。

$$R = \sqrt{\sum_{b=1}^N R_b^2} \quad (1)$$

$$\bar{R}_b = \frac{R_b}{R} \times 100 \quad (2)$$

R_b : バンド**b**におけるLandsat-7 ETM+の反射率

N : 画像のバンド数

R : アルベド構成要素

\bar{R}_b : ノーマライズされたバンド b における反射率

2.2 エンドメンバーの選定

ノーマライズ処理したLandsat-7 ETM+反射率画像について主成分分析を行う。その際、USGSのデータセットにあるマスク情報を用いて地表の情報が正しく得られている地域に限定した。主成分分析で得られた第1成分と第2成分および第1成分と第3成分の散布図を求め、純粋なピクセル、すなわちエンドメンバーが存在するクラスが特定できる。本研究では浸水域を推定するため、主たるエンドメンバーを「水（浸水域）」としているが、それ以外として「森林」、「土壌」、「都市域」の計4つのエンドメンバーを設定した。なお、散布図から選定したエンドメンバーが正しいことをLandsat-7 ETM+画像上で確認している。そして、選定したピクセル群の各バンドの平均値を求め、エンドメンバーのスペクトル情報とした。

2.3 線形混合モデル

SMAに用いる線形混合モデルを以下に示す⁹⁾。

$$\bar{R}_b = \sum_{i=1}^N \bar{f}_i \times \bar{R}_{i,b} + e_b \quad (3)$$

\bar{R}_b : ノーマライズされたバンド b における反射率

$\bar{R}_{i,b}$: バンド b におけるエンドメンバー i の反射率

\bar{f}_i : エンドメンバー i の占有率

e_b : バンド b における残差

$$\sum_{i=1}^N \bar{f}_i = 1 \quad \text{and} \quad 1 \geq \bar{f}_i \geq 0 \quad (4)$$

式(3)を解く際に、衛星で観測された反射率の情報 \bar{R}_b と各エンドメンバーの反射率 $\bar{R}_{i,b}$ が既知の情報であり、エンドメンバーの占有率が未知の情報である。残差 e_b の二乗和を最小にする最小二乗法を用いたフィッティング計算を行うことで各エンドメンバーの占有率が算出される。その際に式(4)の占有率に対する拘束条件をつけた。本研究は水占有率を用いて浸水被害を評価する。

3. 2011年タイ洪水の被災地における浸水率の推定

2011年のタイ大洪水は、タイ内務省によると、死者752人、行方不明者3人という大被害を与えた¹⁰⁾。また、10月中旬にはバンコク都北部のパトゥンタニ県のナワナコン工業団地にまで達した。本章ではSMAをLandsat-7 ETM+画像に適用して洪水による浸水の水占有率マップを作成し、IKONOS衛星の高解像度画像および現地調査の写真を用いて精度検証を行う。

3.1 使用データと対象地域

使用データとして、洪水発生中の2011年11月17日に撮影されたLandsat-7 ETM+反射率画像（地上解像度が30mの可視から中赤外の6バンド）を用いた。対象地域の選定にはデータセットに含まれる海、雲、雲の影のマスクを利用した。なお、Landsat-7号は2003年5月31日にScan Line Correctorが故障したため、画像にはストライプ状のデータ欠損域がある。また、SMAによる水占有推定結果の精度検証を行うために2011年11月18日に撮影されたIKONOS画像（地上解像度が50cmのパンシャープン処理した可視から近赤外の4バンド）を用いた。Landsat-7 ETM+画像とは取得日に1日の差があるが、浸水域には大きな違いがないと考えられる。図1に対象地域とそれぞれの衛星画像を示す。タイ中部に位置するアユタヤ付近から首都バンコク付近を経てタイ湾に至るチャオプラヤ川下流周辺が解析対象地域である。

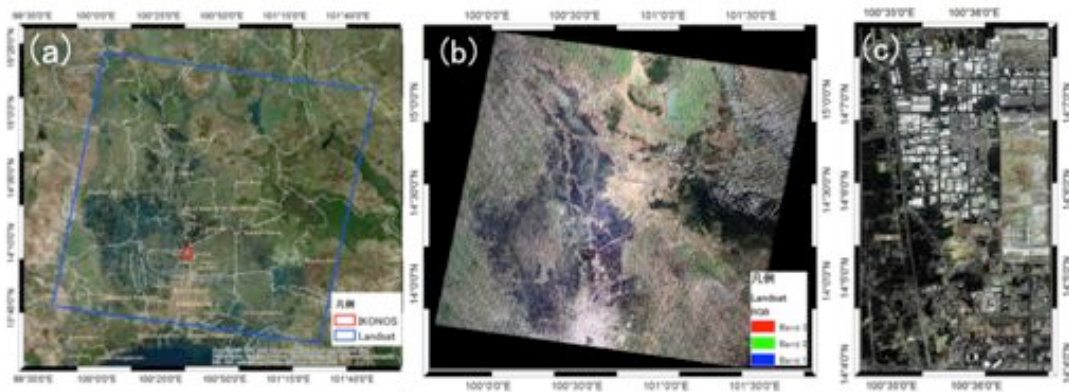


図1 (a): Landsat-7 ETM+及び IKONOS 画像の範囲 (背景に使用している画像は ESRI ラベル付き衛星画像を使用*) (b): Landsat-7 ETM+画像の True Color 画像 (c): IKONOS パンシャープン画像

*著作権: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

3.2 SMAによる水占有率の推定結果と精度検証

Landsat-7 ETM+画像にSMAを適用した水占有率の推定結果を図2に示す。バンコク市街地周辺まで浸水域が広がっていることが確認できる。図2(b)はIKONOS画像と同じ領域を拡大しているが、IKONOS画像(図2(c))で完全に浸水していると確認できる地域において水占有率が100%となっており、建物が密集している工場地帯では水占有率が低くなる傾向が確認できる。

SMAで推定した水占有率の精度を検証するために、IKONOS画像および現地調査の写真に基づき水占有率を算出した。具体的には、Landsat-7 ETM+の解像度である30mに合わせたグリッドを作成し、IKONOS画像に重ねて、2011年11月5日の現地調査の位置(図2(c))と写真を参考にしつつ、主に洪水による浸水が卓越した地域と、工業地帯の建物と浸水域が混じった地域から100グリッドを選び、各グリッド内の浸水範囲を目視にて抽出した。そして、グリッド内の浸水範囲の面積を求めて水占有率のトゥルースデータとした。Landsat-7 ETM+のSMAによる水占有率とIKONOS画像から目視判読した水占有率の関係を図3に示す。両者を比較したところ、SMAによって得られた水占有率の推定精度はRMSEで12.6%であった。これより、Landsat-7 ETM+画像にSMAを適用することで、高解像度の衛星画像を用いた目視判読よりも広域かつ簡便に浸水域の評価が行えることがわかる。

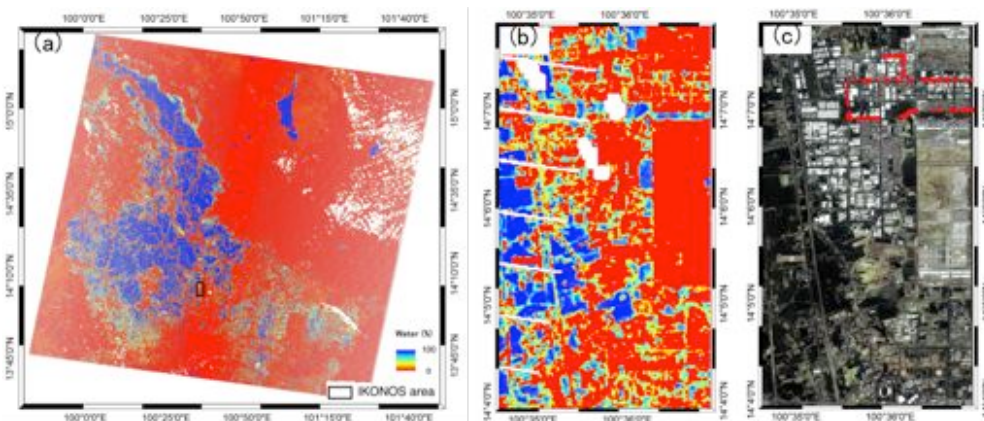


図2 (a): Landsat-7 ETM+画像に SMA を適用した推定水占有率マップ (雲、雲影、ストライプ状の欠損域を白色でマスク) (b): IKONOS 画像と同じ範囲に拡大した水占有率マップ (c): IKONOS 画像と現地調査の位置

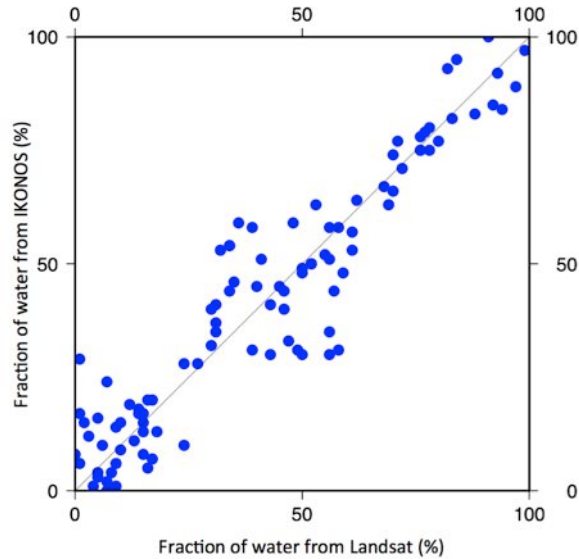


図3 Landsat-7 ETM+画像から推定した水占有率と IKONOS 画像および現地写真から目視判読した水占有率の関係 (RMSE は 12.6%)

4. 東北地方太平洋沖地震の津波被災地における浸水率の推定

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴い東北地方から関東地方の太平洋沿岸を中心に非常に高い津波が観測され甚大な被害が生じた¹¹⁾。本章ではSMAによる水占有率推定を東北地方太平洋沖地震津波によってもたらされた浸水被害に応用した。また、被災地域の天候が悪く、光学衛星画像には雲等の影響を強く受けていたため、全天候型であるALOS PALSAR画像を活用して、水占有率の情報と組み合わせることで後方散乱係数から水占有率へ変換するモデルを構築する。また、PALSAR画像全域に対して本モデルを適用することで、気象条件に左右されずに広域的に水占有率が推定できることを示す。

4.1 使用データ及び対象地域

東北地方太平洋沖地震による津波で広域に浸水被害が及んだ仙台平野を含む範囲を対象地域に設定した(図4)。SMAを適用する衛星データは、タイ洪水と同様に、Landsat-7 ETM+画像である。画像取得日は津波発生翌日の2011年3月12日であり、依然として浸水が確認できる時期である。また、SMAによる水占有率と組み合わせるALOS PALSARデータ (FBS: HH偏波、ピクセル解像度は6.25m) の画像取得日は2011年3月13日と、Landsat-7 ETM+画像とは一日の差があるが、浸水している地域に大きな変化がないと仮定した。ALOS PALSAR画像はCEOSフォーマットのレベル1.5強度画像から、式(5)を用いて後方散乱係数へ変換した。

$$\sigma_0 = 10 \times \log_{10}(DN^2) + CF \quad (5)$$

σ_0 : 後方散乱係数 (dB)

DN^2 : レベル1.5画像のデジタル値を2乗し3×3のウィンドウで平均した値

CF : 校正係数

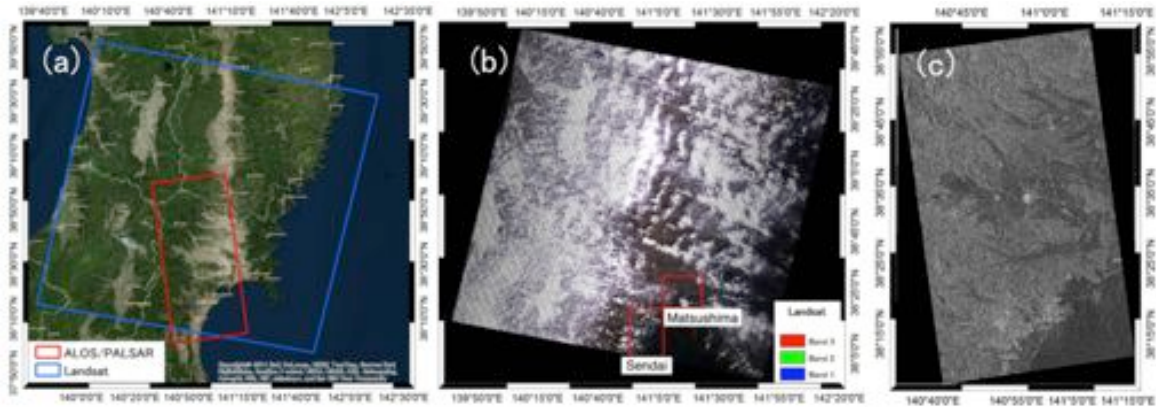


図4 (a): Landsat-7 ETM+及び IKONOS 画像の撮影範囲(背景は ESRI ラベル付き衛星画像ベースマップを使用*)
 (b): Landsat-7 ETM+画像の TrueColor 画像 (c): ALOS PALSAR 画像
 著作権: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

4.2 SMAによる水占有率の推定

2章の手順に従って、東北地方太平洋沖地震津波後のLandsat-7 ETM+画像にSMAを適用して推定した水占有率を図5に示す。図5(a)によると、仙台平野および名取地域の大部分で水占有率が高くなる傾向がみられる。また、国土交通省の調査による津波直後の浸水ポリゴンと比較すると、水占有率が高い地域はその範囲内に概ね一致する。また、図5(b)の石巻・東松島地域でも同様に、マスク処理で除去しきれない雲影による誤抽出が一部あるものの、浸水ポリゴンとの対応は良い。しかし、SMAにて推定した水占有率のマップは雲や雲影による影響のほか、Landsat-7号のストライプ欠損域が画像全域に存在するため、水占有率の算出ができない地域が多数ある。

4.3 PALSARの後方散乱係数を用いた水占有率の推定

ALOS PALSARの後方散乱係数とSMAによる水占有率との関係を調べ、換算モデルを構築することでPALSAR画像から浸水域を定量的に評価することを試みた。まず、ALOS PALSARの後方散乱係数画像をLandsat-7 ETM+画像と同じく30mにリサンプリングし、SMAによって得られた水占有率画像に重ね合わせた。そして、ASTER GDEMの標高値が1~50mの地域について、両画像からピクセル値を抽出し、SMAによる水占有率が70~100%の範囲について1%刻みで後方散乱係数の平均値と標準偏差を算出した結果を図6(a)に示す。標準偏差の値が大きいものの、水占有率が高い地域は後方散乱係数の値が小さくなる傾向がみられる。なお、平均値と標準偏差を算出する際に抽出したピクセル数を平均値のシンボルに色をつけて示している。水占有率が100%に近いとピクセル数が少なく、その付近における統計量の信頼性がやや低いものの、水占有率と後方散乱係数の関係が直線的であると考えて、平均値を用いて水占有率を推定する回帰式を算出した。その結果を式(6)に示す。なお、図6(b)に他のエンドメンバーの後方散乱係数の平均値とそれらの占有率の関係を示すが、都市の占有率が高いと後方散乱係数の値が大きくなる傾向がみられた。

$$\text{Water} = -5.4 \times \sigma_0 - 24.0 \quad (6)$$

Water: 水占有率(%)

σ_0 : 後方散乱係数 (dB)

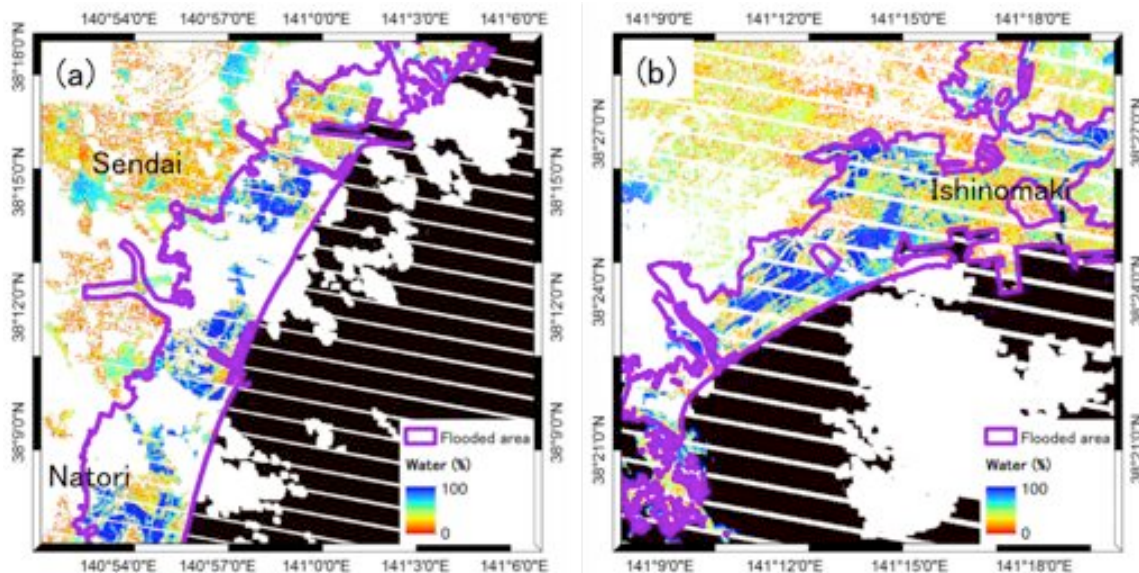


図5 Landsat-7 ETM+画像に SMA を適用した推定水占有率マップ（国土地理院の浸水域を紫色のポリゴンで、雲、雲影、ストライプ状の欠損域を白色、海域を黒色でマスク）(a)：仙台・名取地域 (b)：石巻地域

ALOS PALSARの後方散乱係数画像から式(5)を用いて水占有率マップを求めた結果を図7に示す。SMAをLandsat-7 ETM+画像に適用した結果と比較すると海岸から近い位置での傾向は概ね一致し、地上解像度が高いことから浸水域が詳細かつ定量的に把握できる。海岸から離れた地域でも水占有率が高い地域があるが、これはLバンドのPALSAR画像では土壌と浸水域の後方散乱係数の平均値に大きな差が無いために（図6(b)参照）、誤抽出されたと考えられる。

本研究はオフナディア角46.6度で観測されたALOS PALSAR画像を使用しているため、水占有率への変換モデルは他の入射角で観測されたデータに直接適用することはできない。他の入射角で観測された画像について、本研究と同じ手順を適用することで入射角の影響を考慮したモデルに拡張していく必要がある。また、本研究の前提条件は、水で地表が覆われていると後方散乱係数が低くなるという関係に基づいている。土壌中の水分率が高い地域において後方散乱係数が高くなること¹²⁾を無視しているため、浸水した後に水がひいた地域を的確に評価しているわけではない。また、建物が混在する地域に浸水している場合には、水面と建物間で多重反射が起きるために、大きな後方散乱係数になることがある。今後はこれらの課題を解決していく必要がある。

5. まとめ

Landsat-7 ETM+反射率画像を用いた混合スペクトル解析(SMA)を2011年のタイ洪水と東北地方太平洋沖地震津波による浸水被害に適用した。タイのバンコクにおいて、SMAによって算出された水占有率とIKONOS画像を目視判読した結果とを比較して精度検証を行ったところ、IKONOSによる目視判読結果を真値とした場合、RMSEが12.6%となり、SMAにより水の占有率が比較的高い精度で推定できることを確認した。水占有率という連続値の情報が広域かつ簡便に得ることができるため、従来の閾値に基づく浸水域の抽出と比べてより定量的に評価できるが、一方、雲や雲影などの気象条件やセンサの故障により評価できない地域も存在する。そこで、東北地方太平洋沖地震による津波被災地を観測したALOS PALSAR画像も活用した。具体的には、SMAにより推定した水占有率とPALSAR画像の後方散乱係数の関係を検討し、水占有率が高いほど後方散乱係数が小さくなる傾向を明らかにした。そして、後方散乱係数から水占有率を推定する換算モデルを回帰式により導き、ALOS PALSAR画像から水占有率の分布を広域かつ詳細に得られることを示した。しかし、LバンドのALOS PALSAR画像は水域と一部の土壌との区別が容易ではないなど誤抽出を生じた。今後、CバンドのSAR画像についてモデル作成を検討する

など、課題を解決していく予定である。

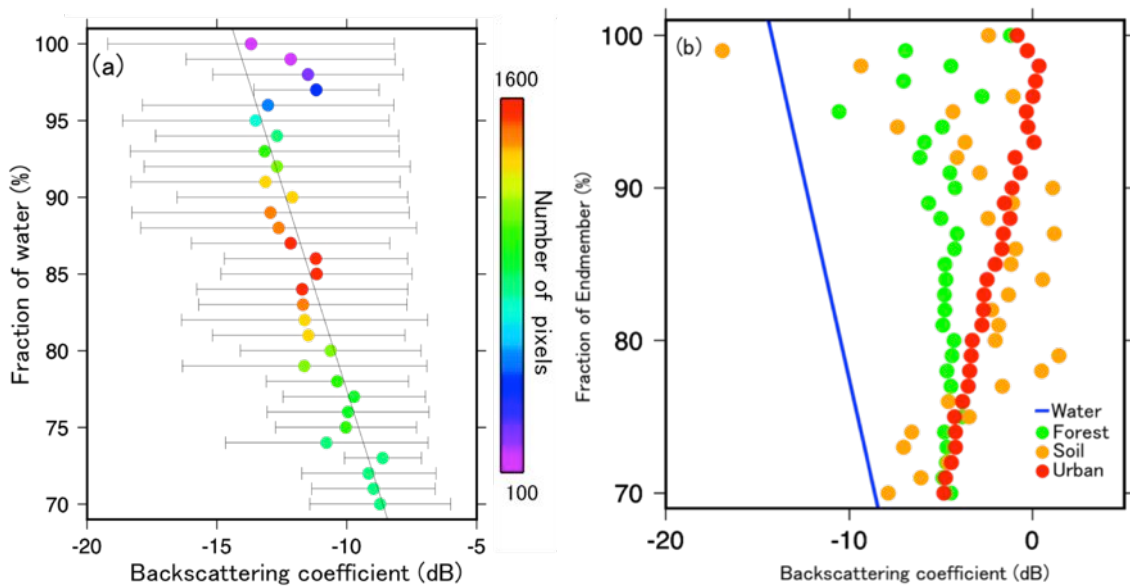


図6 (a) : ALOS PALSAR の後方散乱係数と Landsat-7 ETM+画像に SMA を適用して推定した水占有率との関係 (回帰式の決定定数は 0.92、平均値シンボルの色は統計量の算出に用いたピクセル数に対応) (b) : SMA を適用して得られた各エンドメンバーの占有率と後方散乱係数の関係 (水占有率への回帰式を青色で示す)

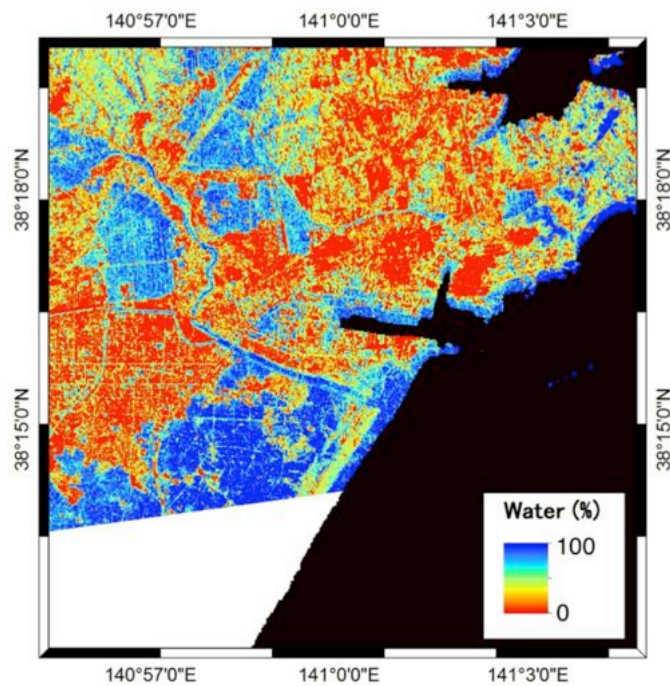


図7 ALOS PALSAR の後方散乱係数画像から回帰式を用いて算出した仙台平野における水占有率マップ (ASTER GDEM を用いて標高が 1 m から 50 m の範囲のみを抽出)

謝辞

Landsat-7 ETM+画像はUSGSのLandsat Surface Reflectance Climate Data Recordを使用した。IKONOS衛星画像は日本スペースイメージング株式会社が販売しているプロダクトを使用した。ALOS PALSAR画像は経済産業省と宇宙航空研究開発機構が所有する。本研究の一部について、科学研究費補助金（課題番号：25282117）の助成を受けた。関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Hallegatte, S., et.al.: Future flood losses in major coastal cities, *Nature climate change*, Vol.3, No.9, 2013, pp.802-806.
- 2) Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Loss events worldwide 2013: http://www.munichre.com/site/corporate/get/documents/mr/assetpool.shared/Documents/0_Corporate%20Website/6_Media%20Relations/Press%20Releases/2014/natural-catastrophes-2013-wold-map_en.pdf
- 3) Shimakage, J., Yamazaki, F.: Detection of flooded areas following the 2011 Thailand floods using ASTER images, In *Proc. 33rd Asian Conference on Remote Sensing*, 2012, 8 pages.
- 4) Gokon, H., and Koshimura, S.: Mapping of building damage of the 2011 Tohoku earthquake tsunami in Miyagi Prefecture. *Coastal Engineering Journal*, Vol.54, No.1, 2012, 12 pages.
- 5) Manjusree, P., et.al.: Optimization of threshold ranges for rapid flood inundation mapping by evaluating backscatter profiles of high incidence angle SAR images, *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol.3, No.2, 2012, pp.113-122.
- 6) Chandrama, D., et al.: Mixed Pixel Analysis for Flood Mapping Using Extended Support Vector Machine. In: *Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA'09*, 2009, pp.291-295.
- 7) Wu, C., & Murray, A. T.: Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, Vol.84, No.4, 2003, pp.493–505.
- 8) Chen, X., and Lin, L.: A comparison of spectral mixture analysis methods for urban landscape using Landsat ETM+ data: Los Angeles, CA. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol.37, 2008, pp.635-639.
- 9) Adams, J. B., et.al.: Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, Vol.52, 1995, pp.137-154.
- 10) タイ内務省防災局：最新洪水関連情報: http://disaster.go.th/dpm/flood/news/flood_lastnews.html
- 11) 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査報告: http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/gizyutu_133.html
- 12) Baghdadi, N., et al.: Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: application to the Touch basin (France). *Sensors*, Vol.7, No.10, 2007, pp.2458-2483.

Quantitative Assessment of Flooded Areas Using Spectral Mixture Analysis from Satellite Optical Images and Combination Use of SAR to the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami

SHINOHARA Takayuki¹⁾、MATSUOKA Masashi²⁾、LIU Wen³⁾ and
YAMAZAKI Fumio⁴⁾

1) Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology in Tokyo
Institute of Technology, Master Student

2) Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology in Tokyo
Institute of Technology, Associate Professor

3) Department of Urban Environment Systems, Graduate School of Engineering, Chiba University, Assistant
Professor

4) Department of Urban Environment Systems, Graduate School of Engineering, Chiba University, Professor

ABSTRACT

In order to detect the flood damage of flood or tsunami, we assessed quantitatively the flood damage by calculating water occupancy in each pixel of optical satellite imagery using Spectral Mixture Analysis (SMA). We applied the SMA for flood event in Bangkok, Thailand, 2011 and compared the result of SMA and visual interpretation from IKONOS image for accuracy validation. Additionally, we developed an estimation model for calculating the water occupancy based on satellite SAR observation, comparing backscattering coefficients of the ALOS PALSAR image and the water fraction information derived from SMA method, which applied to the Landsat-7 ETM+ reflectance image observed the 2011 Tohoku earthquake tsunami. By using our proposed formula and SAR imagery after water-induced disasters, we can perform to estimate flooded areas easily and quantitatively.

Keywords: Flood, Tsunami, Landsat-7 ETM+, Spectral Mixture Analysis, Backscattering Coefficient