

# MODIS時系列画像と数値標高データを用いた広域の洪水氾濫域抽出 ～2011年タイ国チャオプラヤ川大洪水～

郭 栄珠・萬矢敦啓・岩見洋一

## 1. はじめに

近年、日本国内だけではなく、海外でも2010年のパキスタン、インダス川大洪水を始め、2013年のインド北部ヤムナ川洪水や台風30号(国際名: Haiyan、フィリピン名: Yolanda)など、特にアジア途上国を中心に数多くの大洪水、氾濫被害が発生している。例えば、ベルギーのルーベンカトリック大学災害疫学研究所の国際災害データベース(EM-DAT: Emergency Disasters Data Base)によると、2000年から2011年の間に、水災害により死者数が上位を占める10ヶ国の内、9ヶ国がアジア諸国である。

洪水氾濫域が数十キロ以上に広がり湛水時間が長くなるような大洪水の場合には、被害の全体像を把握することが困難な場合が多い。洪水による被害を最小限にするためには、洪水発生直後の状況・情報を迅速にモニタリングし、その情報を周囲へ伝達することが最も重要である。例えば、衛星リモートセンシングによる災害発生前後の観測画像から氾濫域を面的に把握することは被害軽減のために有効な手段となる。既に国連人工衛星アプリケーションプログラム(UNOSAT)や国際協力プログラムセンチネル・アジア(Sentinel Asia)などは、洪水直後から衛星観測による氾濫域情報を発信し、被害把握や軽減などに貢献している<sup>1)</sup>。

一方において、観測画像から広域の洪水、氾濫域を抽出する手法の自動化が十分確立されていないことで、復旧活動支援等への実用化につながらない。更に、大気補正と雲除去処理の限界、氾濫域情報提供の遅れや連続的・網羅的な監視ができないなどの課題もある。

本稿では、洪水の脆弱性が高い開発途上国を対象に限られた情報、例えばインターネットから取得できるグローバルデータのみを用いて広域的な氾濫域を自動抽出する手法について検討を行った。

## 2. 広域の洪水氾濫モニタリング

### 2.1 研究目的

本研究は、時系列衛星リモートセンシングによる広域的な洪水氾濫域の抽出および地上水文観測データが不十分な地域での洪水氾濫域の判読精度を向上しつつ、迅速に洪水氾濫域マップを作成することを目的とした。まず、光学衛星画像によるバンド別スペクトルとの相関を分析し、近赤外領域で強く吸収する水の特徴を踏まえ新たな地表水指数を提案する。これをもとに時系列光学衛星画像から一次氾濫域を抽出した後、数値標高データを加えて三次元フィルタ処理により二次氾濫域を修正する一連の自動処理アルゴリズムを適用し、氾濫域を抽出する。

### 2.2 対象地域

タイ国最大の流域を持つチャオプラヤ川は日本の総面積の半分近い流域(流域面積約160,000km<sup>2</sup>、長さ約1,200km)であり、降雨の場所が各地点の流量に大きく影響している特徴から、既に河川水位が高いときに近傍上流に雨が降ると急激に水位が上昇し河川氾濫が始まる。2011年7月から断続的に続いた50年に一度の記録的な大雨により、河川流量100m<sup>3</sup>/sec当り水位が25cm急上昇し、死者・行方不明者800名を越え、被害者数も1千3百万人に及ぶ大規模な洪水が発生した<sup>1),2)</sup>。



図-1 対象地域

### 2.3 使用データ

タイ国チャオプラヤ川の2011年大洪水時に、日本国内で取得可能なすべての衛星の運行状況、撮影結果の良否、撮影日時、画像の詳細情報を調査した。その取得情報の内、本研究では、米国航空宇宙局(NASA)の地球観測衛星TerraとAquaに搭載されている光学センサーMODIS(中分解能撮像分光放射計)から得られる画像を選定した。MODISデータは地上分解能約250m~1,000m、広域環境観測センサ(36バンド)であり、無償かつ準リアルタイム(1日)で観測データを提供している。本研究では、表-1に示すように、洪水氾濫域が東西幅185kmを超えていることと時系列分析が可能である中解像度の8日ごとのコンポジットのアクア(Aqua, 地上分解能500m)MODISデータ(MYD09A1)を用いて広域氾濫を抽出した。

標高データ(DEM)は、米国NASAのスペースシャトルSRTM (Shuttle Radar Topography Mission、2000年2月、11日間の飛行)で計測した三次元の全球高解像度水文地形データ(HydroSHED)の中、15秒メッシュ(地上分解能約450m)データをインターネットから取得した。

表-1 衛星観測データ

データ	MODIS MYD09A1	HydroSHED
処理レベル	Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid V005	SRTM DEM15S DTED-1
撮影日	2011/08/21-08/28 2011/09/22-09/29 2011/09/30-10/07 2011/10/08-10/15 2011/10/16-10/23 2011/11/01-11/08 2011/11/17-11/24	Feb.2000
解像度	約500m	約450m
投影法	WGS84 EGM96	

## 3. 洪水氾濫域の抽出手法

### 3.1 指標による洪水氾濫域の比較

MODIS衛星画像の各ピクセルの分光スペクトルに対応する土地被覆の種類は、図-2(A)のように土壌、植生、雪、雲、水で表す。水は赤域(620~670nm)のバンド1から短波長赤外域(2,105~2,155nm)のバンド7まで反射率の値が非常に低く他のタイプと区別しやすくなる。図-2(B)は、

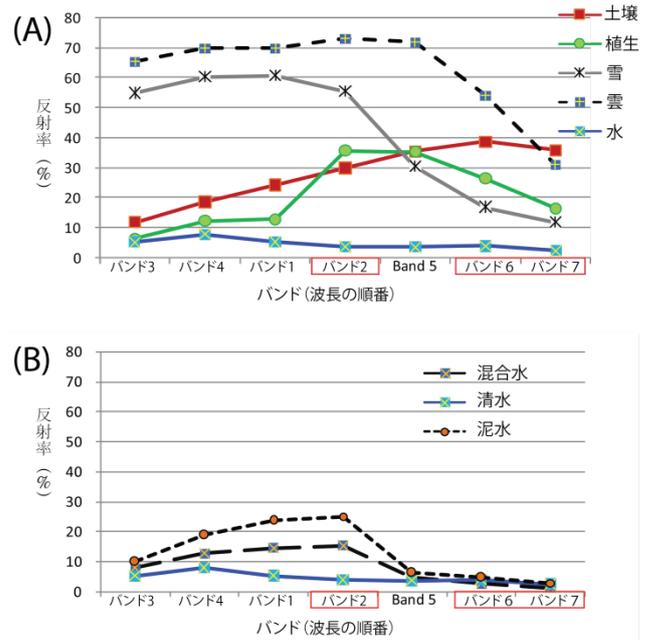


図-2 (A)土地被覆タイプと(B)水の混濁度によるスペクトル特徴

洪水が発生した場合のスペクトルを清水、泥水、判別しにくい混合水で分類したものである。泥の成分が多く含まれると可視域から近赤外域まで反射率が増加することが分かる。そこで、水グループの分光スペクトルにおいて、最大値を持つバンドに着目し、各バンドの反射率の差分で正規化することとした。

正規化指数(Normalized Difference Index)は他の被覆より高い値あるいは低い値を示す場合、さらに有効に使える。今までの正規化植生指数(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)や正規化水指数(NDWI : Normalized Difference Water Index)や地表水指数(LSWI : Land Surface Water Index)を用いて洪水領域抽出の精度を比較する<sup>3),4)</sup>。

$$NDVI = \frac{R_{RED} - R_{NIR}}{R_{RED} + R_{NIR}} \quad \text{式(1)}$$

$$NDWI = \frac{R_{RED} - R_{SWIR}}{R_{RED} + R_{SWIR}} \quad \text{式(2)}$$

$$LSWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad \text{式(3)}$$

ここで、 $R_{RED}$ は赤域(バンド1)の反射率( $R$ : Reflection ratio)、 $R_{NIR}$ は近赤外域(841~875nm、バンド2)、 $R_{SWIR}$ は短波長赤外域(1,628~1,652nm、バンド6)である。

### 3.2 MLSWIによる一次氾濫域の抽出

MODIS観測画像から一次氾濫域を自動抽出するため、各バンドの反射率特徴を利用し、新たな地表洪水指数(Modified Land Surface Water Index : MLSWI)<sup>5)</sup>を式(4)のように提案した。

$$MLSWI_{Flood} = \frac{1 - R_{NIR} - R_{SWIR}}{1 - R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad \text{式(4)}$$

ここで、 $R_{SWIR}$ は短波長赤外域(バンド7)である。

### 3.3 DEMによる二次氾濫域の抽出

一次氾濫域の抽出方法では、氾濫域にも関わらず市街地や植生や雲などにより水が判読できない場合がある。図-3は、この問題を解決するために考案した標高データの比高に基づくフィルタ処理のアルゴリズムである。図に示すように一次氾濫域で抽出された氾濫域メッシュの高さ(ターゲット30m)と周りの8方向のメッシュの高さをトレースする。次に、氾濫域メッシュと周りのメッシュ比高を1メートルごとに比較し、隣接メッシュが一次氾濫域と同じ高さ(30m)とその以下の高さ(29m)であれば、氾濫水が流れて冠水状態になる二次氾濫域とする。

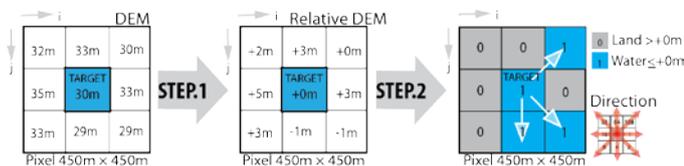


図-3 標高データの比高に基づく氾濫域の修正アルゴリズム

## 4. 氾濫域の抽出結果

### 4.1 MLSWIによる一次氾濫域の抽出

図-4はチャオプラヤ川流域と(A)MODIS観測カラー画像、(B)MLSWI( $< 0.7$ )、(C)LSWI( $> 0.3$ )、(D)NDWI( $> -0.1$ )、(E)NDVI( $< -0.1$ )を用いる一次氾濫域である。各閾値の比較により、雲や海、水域など誤検出を除くことからMLSWIの方が水域の抽出精度が確実に上がってきて、有効であることが明らかになった。図-5はチャオプラヤ川流域の大規模氾濫域の拡大に関して11月の浸水域の把握を試み、さらに、標高データのフィルタ処理を行わなかった場合(A)と行った場合(B)とで、解析結果に生じる違いを確認したものである。特に、ナコーンサワン市を中心に上流と下流に大きく区分でき、8月から上流側の氾濫が始まり11月

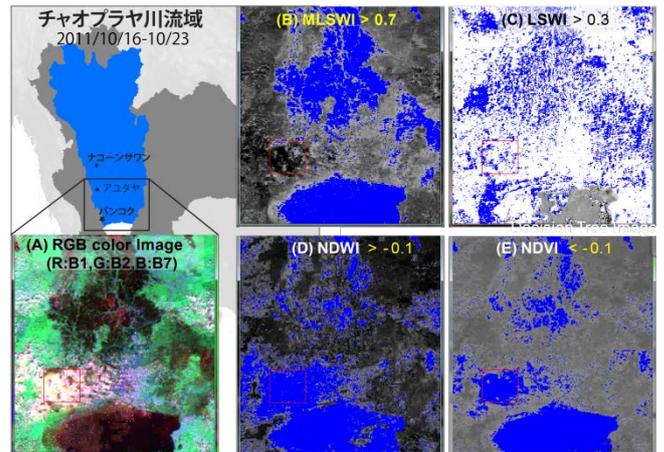


図-4 指標による洪水氾濫域の比較:(A)MODIS観測カラー画像、(B)MLSWI、(C)LSWI、(D)NDWI、(E)NDVI

末において氾濫規模が最大3倍以上になって、バンコク市北部に到達したまま停留していることが確認できた。

### 4.2 DEMによる二次氾濫域の抽出

標高データのフィルタ処理により得られた氾濫域は、図-5(B)に示すように、高さが同じであるナコンサワン湖や水田や川などの周辺に水が広がり、高台以外には氾濫域メッシュと修正された違いが確認できた。

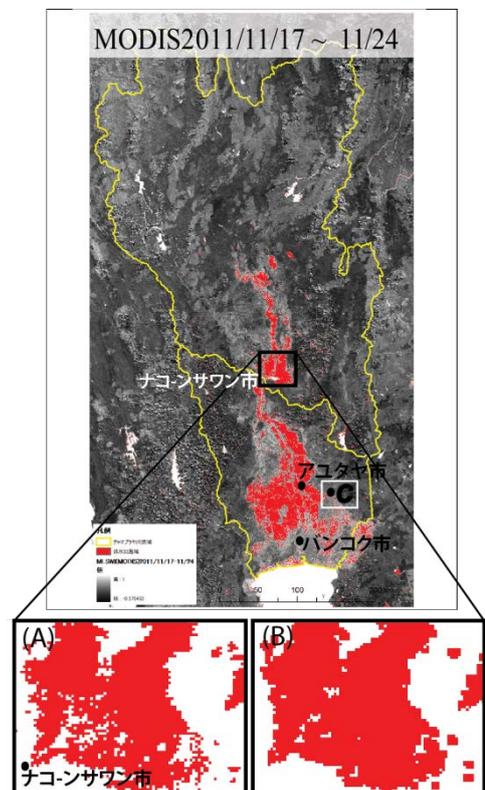


図-5 (A)氾濫域の抽出メッシュ(赤)と(B)標高データのフィルタ処理による修正氾濫域

### 4.3 現地調査と深水域抽出の検証

当該洪水の現地観測を数回にわたり実施したが、そのうち2011年11月23日～29日にかけて実施した結果は、図-5のC地点周辺地域において、詳細な氾濫域を試みたところ、図-6に示すようにMODIS画像(11月17日～24日)からの氾濫域(赤色)とよく一致していることが確認できた。ここでは水平精度10cm、鉛直精度15cmのStarFire GPS(Google earthと同期させたガーミンタイプのGPS)を用いて氾濫範囲を観測した。さらに、現地におけるヒアリング、周囲の痕跡水位から判断すると、例えば、図-6の地点Cが氾濫域の東端であることが分かった。

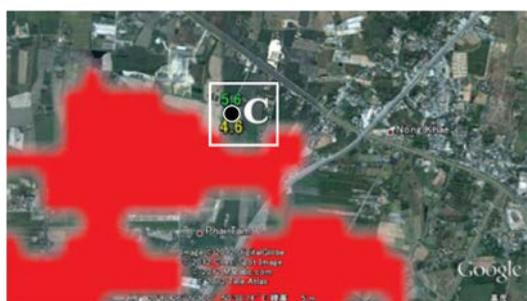


図-6 MODIS時系列データ(2011/11/17～11/24観測、赤色)とGPS測量による観測水位4.6m(黄色)と痕跡水位5.6m(緑色):図-5中のC地点周辺の区域

## 5. まとめ

中解像度の光学衛星(MODIS)画像から新たな地表水指数(MLSWI)を適用して大規模の一次氾濫域を抽出した後、三次元標高データのフィルタ処理により二次氾濫域を抽出した。この手法により洪水によって発生する泥水と混合ピクセル(植生と水の混合)の判読精度が改善された。更に、時系列データを用いて200km以上の広範囲にわたる大洪水に対して迅速に(1日遅れ)最大洪水氾濫域の全体状況をモニタリングする可能性

と有効性を検討した。

本手法は、衛星画像処理解析の専門家でもなくとも洪水リスク管理者あるいは一般向けに洪水状況・情報を迅速に取得することができ、災害軽減にも役に立つ有効な手段である。特に、限られた情報しか持たない開発途上国で大規模な水害が発生した時、このような貴重な防災情報を被災地まで提供することにより、被災地の緊急復興活動支援に貢献できる。ただし、災害発生直後の市街地の状況、幹線道路の状況等を把握するためには、5m程度の高い地上解像度のデータが必要となる。光学センサによる観測は多くの制約(雲影響の除去など氾濫抽出の精度問題)があるため、多時期の合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar)データによる氾濫域の抽出は今後の課題である。

### 参考文献

- 1) World Bank: Thai flood 2011, Rapid Assessment for Resilient Recovery and Reconstruction Planning, GFDRR, 377p, 2011
- 2) 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡 奨、牛山朋来、萬矢敦啓、田中茂信: 2011年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.69、No.1、pp.14～29、2013
- 3) Xiao X., Boles S., Liu J., Zuang D., Froking S. & Li C.: Mapping paddy rice agriculture in southern China using multitemporal MODIS images. Remote Sensing of Environment, 95, pp.480-492, 2005
- 4) Gao, bo-cai : NDWI a normalized difference water index for remote Sensing of Vegetation Liquid water from space, Remote Sens Environ. 58, pp.257-266, 1996
- 5) Kwak Y., Park J. and Fukami K.: Near Real-time Flood Volume Estimating from MODIS Time-series Imagery in the Indus River Basin, Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 7(2): pp.578-586, 2014

郭 栄珠



(独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ 専門研究員、工博  
Dr. Youngjoo KWAK

萬矢敦啓



(独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ 研究員、工博  
Dr. Atsuhiko YOROZUYA

岩見洋一



(独)土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ 上席研究員  
Yoichi IWAMI