

## 5.3 人工衛星を用いた広域洪水氾濫域・被害規模および水理量推定技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水災害研究グループ（水理・水文）

研究担当者：深見和彦、萬矢敦啓、郭栄珠

### 【要旨】

発展途上国を中心として依然として頻発する大規模の洪水氾濫災害発生時に、衛星リモートセンシング情報を有効に活用することで、洪水氾濫範囲を面的に把握し、被害規模を迅速かつ的確に把握することは、緊急・長期での避難・復旧対策や援助対策の立案を行う上で重要である。本プロジェクト研究では、まず 2011 年タイ国チャオプラヤ川流域における大洪水を対象として、その水域検出精度の向上及び正規化指数による自動抽出アルゴリズム開発を行った。更に時間解像度向上のため複数衛星センサデータ活用手法を検討した。

キーワード：リモートセンシング、氾濫域、正規化指数、複数衛星センサ

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景

近年、海外、特に東南アジア等の発展途上国を中心として多くの洪水災害が発生している。洪水氾濫域が広域におよぶ場合、交通網の不能をはじめとした様々な理由により現地調査を通じて洪水の全体概要を把握することは困難であることが多い。そういった問題解決のための技術として、リモートセンシングデータは広域性、均質性、周期性などの特長を持ち、人工衛星による災害発生後の面的な氾濫域の検出は非常に有効な手段と期待される。しかし、光学センサの場合、人工衛星が洪水氾濫域上空を通過する際、一つの人工衛星が同じ場所の観測を再び行うまでに多くの日数が経過することなど様々な課題が残っている。一方、合成開口レーダセンサ（SAR）の場合、全天候性（観測時の天候に左右されない）・昼夜観測が可能（アクティブセンサ、太陽光不要）・コヒーレント性（位相のそろい具合）が高いなど利点があるが、100km 以内範囲・マイクロ波後方散乱画像の解釈の複雑性など欠点もある<sup>1)</sup>。これらの技術的課題を克服することで、短期・長期の災害対応・復旧活動支援に資する情報を提供することが求められている。

#### 1.2 研究の目的

大洪水に着目して、溢れる水の流れを観測するためには、これらの広域・高頻度観測データを有効に活用して、洪水氾濫域の変動を迅速に把握する必要がある。そこで本研究では、広範囲を高頻度に観測する MODIS センサによる時系列データに着目する。すなわち、MODIS における可視から短波長の領域を活用し、新たに正規化洪水指

数(MLSWI)を利用することで、水域検出精度の向上を図ることのできる自動抽出アルゴリズム開発・検証を行う。

一方、MODIS は広域・高頻度観測という長所の一方で、解像度が 500m と都市域等での洪水氾濫把握には解像度が粗い問題がある。また、衛星システム単体としてみれば MODIS は他システムより高頻度観測ではあるが、1日 1～2回という頻度は必ずしも十分ではないため、他の衛星情報を補完的に利用する方法についても検討し、その有効性と技術的課題を明らかにする。

### 2. 研究対象地域

研究の対象地域は、2011 年 9 月から 12 月にかけて未曾有の洪水氾濫災害が発生したタイ国の中央部に位置する



図-1 チャオプラヤ川流域

チャオプラヤ川(Chao Phraya river)流域とした。チャオプラヤ川は図-1に示すよう流域面積は約16万2,000平方キロ(利根川の約10倍)でタイの約3分の1を占める。流域の上流は1/1000の急勾配、中流域が約1/50000、下流域は殆ど平らな土地である。上流域は主に森林地域、中流は灌漑農地が広がる一方、下流には人口・資産が集中している<sup>2)</sup>。

### 3. 洪水氾濫域の自動抽出アルゴリズム開発

#### 3.1 MODIS データ

2011年7月28日から12月1日までにタイ国チャオプラヤ川流域における衛星データの取得状況を把握した。比較的高解像度のLandsatも広域をモニタリングしているが、今回、洪水氾濫域が東西幅185kmを超え、回帰日数の長いLandsat画像の取得が難しいため、中解像度のModerate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS)衛星画像を取得し(表-1)、広域把握と高頻度観測を両立したモニタリングの可能性と有効性を検討する。MODISプロダクトのうち、AQUAのMYD09A1地表反射率(Surface Reflectance)、解像度500m、8Dayコンポジットデータを用いた。MYD09A1の地表反射率は0.648μm(CH1), 0.858μm(CH2), 0.470μm(CH3), 0.555μm(CH4), 1.24μm(CH5), 1.64μm(CH6), 2.13μm(CH7)まで、7つの周波数帯(band)のチャンネルが存在する<sup>3)</sup>。

表-1: 取得したMODISデータ一覧

衛星名	処理レベルと水平解像度	撮影日
Aqua 衛星 MODIS センサ	Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m(MYD09Q1)及び 500m(MYD09A1) SIN Grid V005	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

### 3. 2MODIS データを用いた抽出基準

#### 3.2.1 MLSWI

複数のチャンネルにおける反射率等の比演算による正規化指数(Normalized Difference Index)は、図-2に示すように、ある被覆について他被覆タイプより高い反射率と他の被覆より低い反射率を示す場合に、当該被覆の自動抽出に有効である。そこで、本研究では国内外で提案されている複数の正規化指数について、洪水氾濫域抽出への有効性を比較する。

水のグループの分光反射率において、最大値を持つチャンネルに着目し、各チャンネルの反射率の差をそれら

の和で正規化することを考えた。

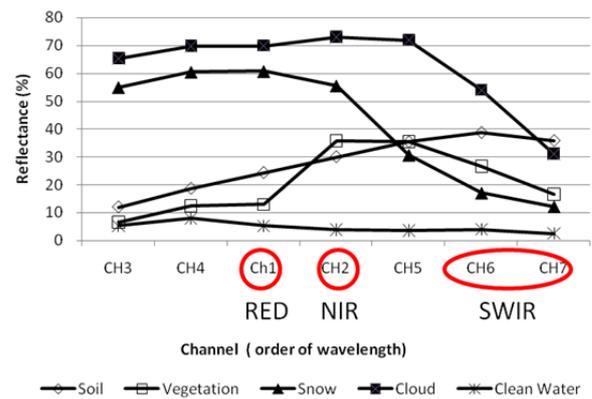


図-2 土地被覆タイプによるMODISスペクトル特徴

短波長赤外域(SWIR)の反射率Rと近赤外域の吸収率Aを考慮し、朴らが提案したMLSWI(Modified Land Surface Water Index: 地表洪水指数)<sup>5), 6)</sup>を適用した。

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

Absorption ratio ( $A_{band}$ ) = 1 - Reflection ratio ( $R_{band}$ )

一方、LSWI(地表水指数: Land Surface Water Index)<sup>7)</sup>は $R_{NIR}$ (841-875nm)と $R_{SWIR}$ (1628-1652nm)による指数である。

$$LSWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad (2)$$

MLSWIはLSWIの式2の $R_{NIR}$ の代わりに $A_{NIR}$ を用いた地表洪水指数である(式1)。水面では $R_{NIR}$ は低くなるが $A_{NIR}$ は大きくなり、水面を強調する効果がある。

#### 3.2.2 既存のNDWI及びLSWI正規化指数の比較

MLSWIとLSWI以外に、広く知られている正規化指数であるNDVI(正規化植生指数: Normalized Difference Vegetation Index)<sup>8)</sup>およびNDWI(正規化水指数: Normalized Difference Water Index)<sup>9), 10)</sup>を加えて洪水領域での氾濫検出の判別精度を比較・検証した。

図-3はLSWIとMLSWIを用いた各土地被覆のスペクトル特徴の比較である。MLSWIによる水域(清水、河川水(洪水)、濁水(氾濫水))は0.5以上であり、その他(土、雪、雲、植生)は0.5以下となっている。そのため、MLSWIでは0.5以上の領域により水面を自動抽出できるが、LSWIでは自動水域抽出が難しいことがわかった。

$$NDWI = \frac{R_{RED} - R_{SWIR}}{R_{RED} + R_{SWIR}} \quad (3)$$

一方、NDWIの場合、雪は幅広く0.2以上から1.0まで分布するとともに、0.0から0.3の範囲で雲、雪、湖、水、洪水が共存し、区別ができない(図-4)。NDVIとの比較も同様に、MLSWIに比べて水域判別性では劣っていた。

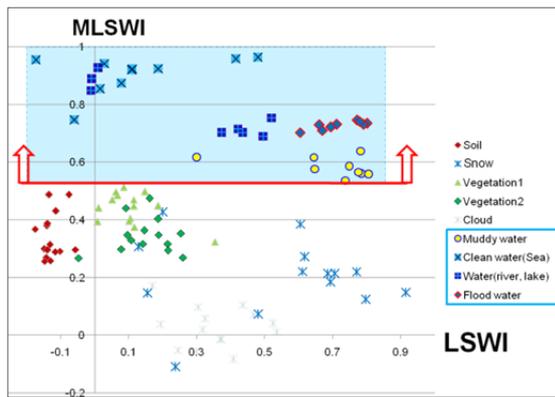


図-3 土地被覆タイプによる LSWI と MLSWI との比較

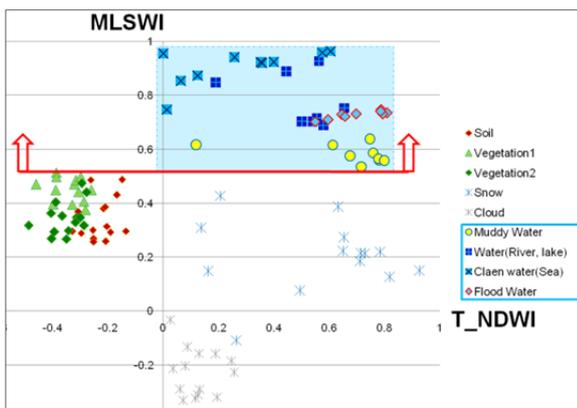


図-4 土地被覆タイプによる NDWI と MLSWI との比較

以上の結果から、洪水氾濫域を自動判別する際には、MLSWI 指数が最も有効であることが明らかになった。

### 3. MODIS 時系列データを用いた水域抽出

上記の MODIS-MLSWI を活用して、タイ・チャオプラヤ川洪水における洪水氾濫域時系列データを作成した。その手法は以下の通り。原データの地理座標系を全て UTM 座標系 47 帯 (地球楕円体・データム: WGS84) に統一する。その際、それぞれの原データの水平解像度を維持する。ここで SRTM Water Body Data (SWBD)<sup>10</sup> を重ね合わせ、河川の位置にずれがないことを確認している。次に MLSWI 指標を用いて 2 値化して水域を抽出する。完全に湛水している箇所が抽出されるように設定した 2 値化のしきい値を表-2 に示す。また、標高、河川・湖沼、水田マスクを用いた誤抽出を除外した。その結果の一例を図-5、6 に示す。それぞれの図の背景には、比較に用いた MODIS の MLSWI 画像をそのまま用いている。8 月下旬にはナコンサワン上流にあった氾濫域が、時間とともに徐々に南下し、11 月上旬にはバンコク北部に到達していることがわかる。

表 2: MODIS データより水域抽出したしきい値

水域抽出指標	撮影日	2 値化のしきい値
MLSWI (Band2,7)	2011/08/21-08/28	水域>0.81
	2011/09/22-09/29	水域>0.77
	2011/09/30-10/07	水域>0.74
	2011/10/08-10/15	水域>0.81
	2011/10/16-10/23	水域>0.81
	2011/11/01-11/08	水域>0.83
	2011/11/17-11/24	水域>0.76

## 4. 複数光学センサのデータ活用

### 4. 1 衛星データ取得

MODIS 画像は空間解像度が 500m と高くないため、より高解像度の氾濫域抽出を行うとともに、時間的にもより密に変化抽出を行うことも別途必要になることが想定される。そこで、MODIS 画像を収集した期間中で、他の二つ以上の衛星でほぼ同時期に撮影された高解像度衛星データの利用と相互補完の可能性を調べた。対象としたセンサ画像は 15m の高解像度を有する ASTER, SPOT, THEOS のセンサ画像であり (表-3)、それぞれ NIR (近赤外線) を用いた水域抽出を行った。

表-3: 複数光学センサのデータ

衛星	センサ	処理レベルと	水域抽出指	撮影日
TERRA	ASTER (VNIR)	L1A, 15m	NIR (Band3)	2011/10/23
				2011/11/01
				2011/11/17
SPOT-	HRVIR	L2A, 15m	NIR (Band3)	2011/10/24
THEOS	Multispectral	CARTO (L2A), 15m	NIR (Band3)	2011/10/30
				2011/11/04

### 4. 2 複数センサの水域抽出分析

二つ以上の衛星でほぼ同時期に撮影されたデータを用いて氾濫域の比較を行った。図-7 に約 10km 四方の範囲で比較した結果を示す。MODIS、THEOS、ASTER と SPOT5 の画像から抽出した水域を分析すると、同じプラットフォームをもつ MODIS (250m) と ASTER (15m) の場合、解像度の違いがあるものの農地域では水域抽出範囲はほぼ一致していることがわかる (図-7C 及び D)。しかし、MODIS の場合、都市域周辺で水域抽出が困難となっていた。一方、ASTER や THEOS の場合、市街地周辺部も含めて水域抽出が可能となり、THEOS の場合は、都市域内部の氾濫情報もある程度抽出できた (図-7B)。このことから、高解像度のセンサデータを活用して組み合わせることにより、都市域を含めたよりきめ細かな洪水氾濫の把握が可能になると期待される。

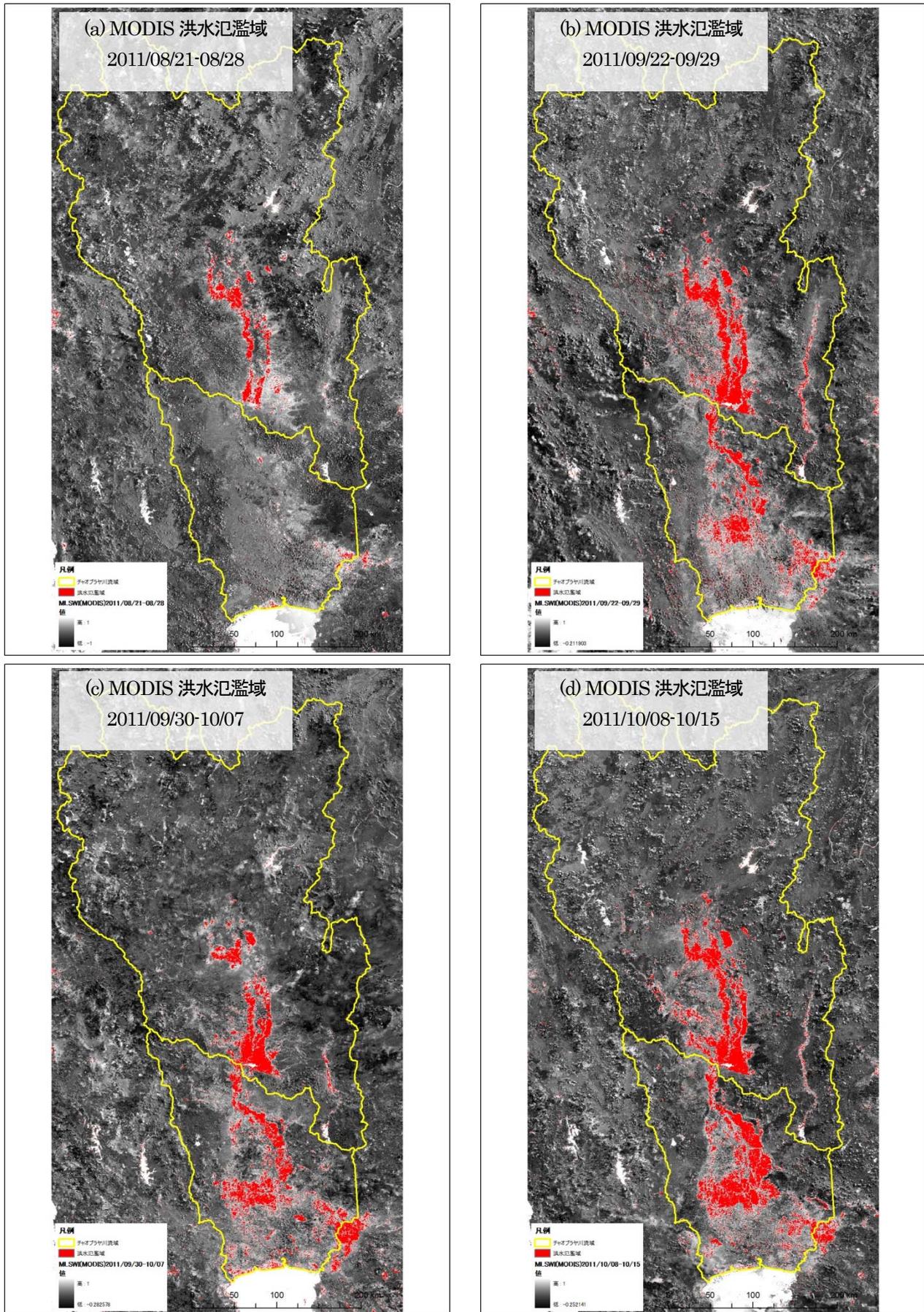


図5 タイ国チャオプラヤ川流域における氾濫域の時系列変化 (MODISのMLSWIを用いた水域抽出)、8月21日～10月15日

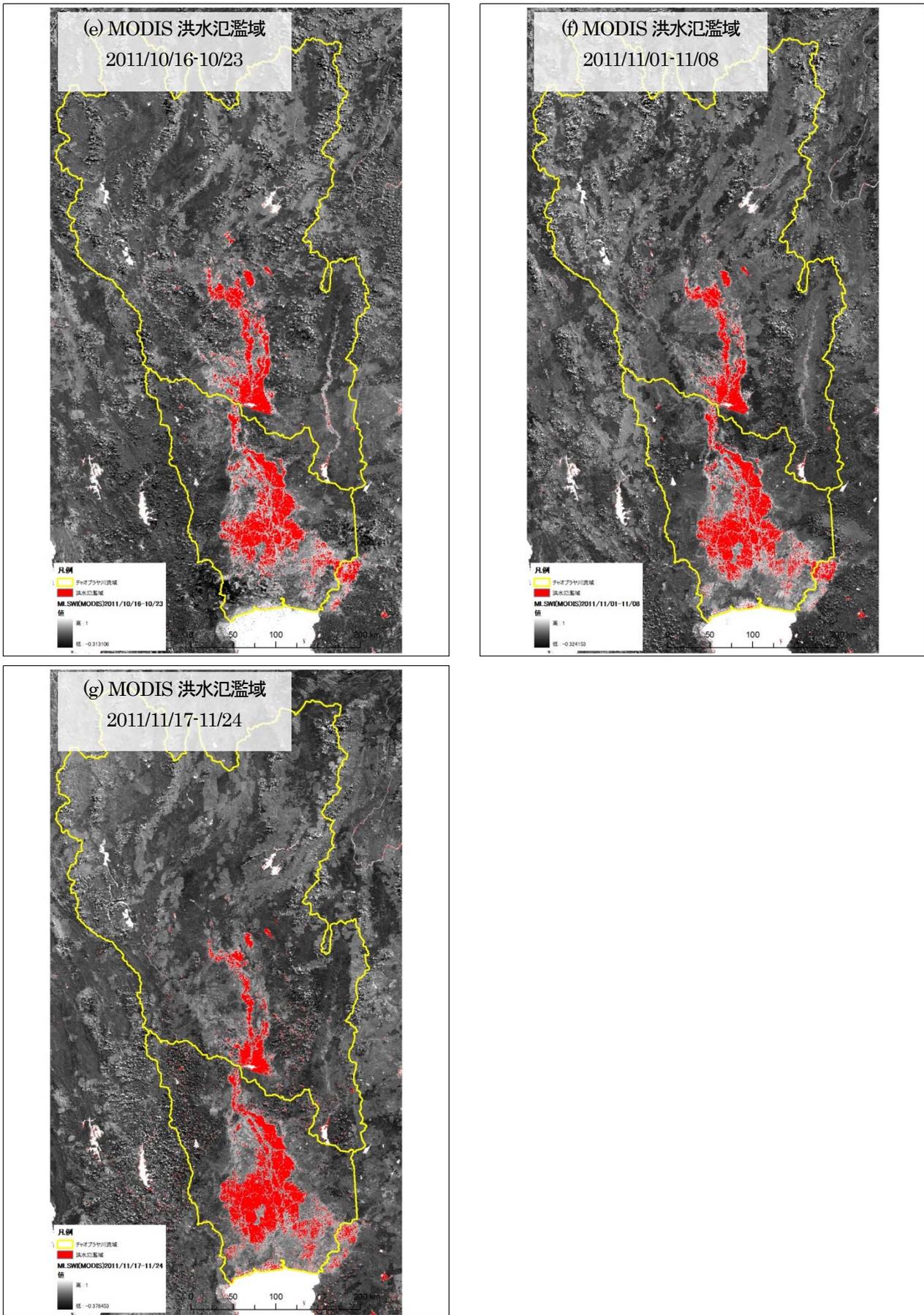


図-6 タイ国チャオプラヤ川流域における氾濫域の時系列変化 (MODISのMLSWIを用いた水域抽出)、10月16日~12月1日

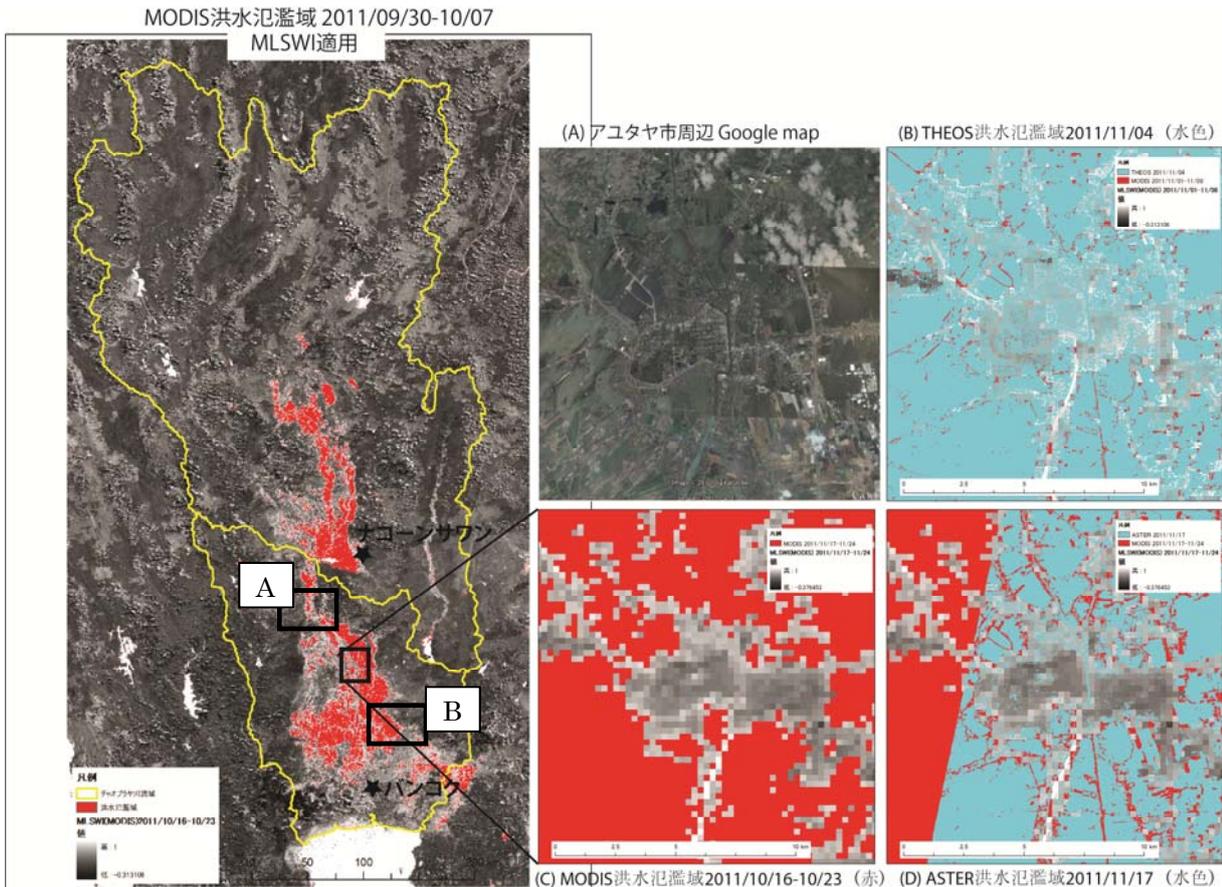


図-7 MODIS データ (2011/10/16-10/23 撮影) の MLSWI を用いた水域抽出 (左) と  
アユタヤ市周辺の THEOS (B) と ASTER (D) との精度比較

#### 4. 現地調査と水域抽出の検証

上記で抽出した洪水氾濫域の把握が正しいかを検証するため、2011年11月23日～29日にかけて実施した現地調査にもとづく検証を行った。その際、地球上の任意の位置において水平精度 10cm、鉛直精度 15cm の StarFire GPS、google earth と同期させたスタンドアロンかつガーミンタイプの GPS を用いて、調査位置・標高を把握している。図-8 は図-7 の A 領域を拡大してそれを google



図-8 MODIS データ (2011/11/17-11/24 撮影) のコンポジット画像、図-7 中の領域 A に相当) と現地踏査地点 (A, B, C, D)

earth 上に示したものである。図-8 の地点 A, B, C, D は現地踏査に自家用車で通過した一般道路上のポイントを示す。その周囲の多くは水田又は畑である。またこの道路は周囲よりも数 m 標高が高い。地点 B では同道路上よりも 30cm 高い痕跡水位が確認できた。また地点 C は地点 A～B の間で確認された越流の西端であることが確認された。

図-9 は図-7 の B 領域を拡大してそれを Google earth 上に示したものである。図中に黄色で現地視察時の水位を、緑色で痕跡水位を入れた。現地におけるヒアリング、周囲の痕跡水位から判断して、この地点が氾濫域の東端と考えられた。これは MODIS による氾濫域抽出結果とほぼ一致している。

図-8, 9 が示すように、土地利用が水田や畑のような場所における MODIS が示す氾濫域は、かなり正しい値を示すことが現地検証より理解できた。一方、図-7 はアユタヤ市周辺の浸水状況を示したが、図 7(c) が示すように MODIS の結果は都市域周辺では氾濫状況を正しく示していないと想定され、そのことは、当時の新聞等のメディアの情報、現地踏査においても確認された。またここでは、紙面の都合上図-8, 9 の二つの例を示すのにとどめた

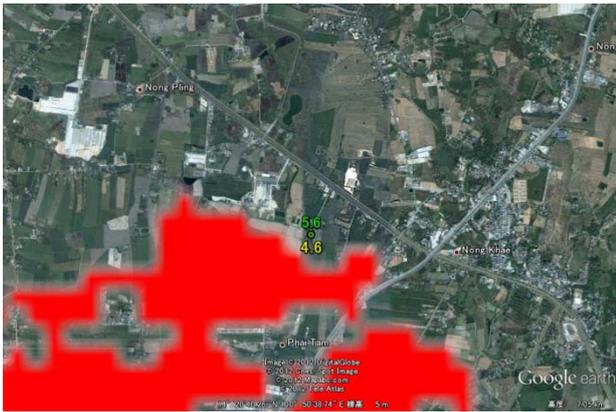


図-9 MODIS データ (2011/11/17-11/24 撮影のコンポジット画像、図-7 中の領域Bに相当)による水域抽出域 (赤色域) と GPS 測量による現在水位 (黄色)、痕跡水位 (緑色) が、他の領域の現地調査においても同様の傾向が見られた。

## 5. まとめ

多時期の MODIS/Aqua 8 日間合成画像を用いて、2011 年タイ国チャオプラヤ川流域における大洪水の地表面の氾濫域と抽出した。その際、地表洪水指数 MLSWI を開発し適用した結果、従来から知られる他指数に比べて、その水域抽出精度が高いことを示した。更に時間・空間解像度向上のため複数衛星センサデータ活用手法も検討した。MODIS の空間分解能は 500m と比較的低いため、農地域での水域抽出には問題はなかったが、都市域内部・周辺では水域抽出が困難であった。一方、ASTER のように 15m の高い空間分解能を持つ画像を用いることで、都市域周辺を含めて洪水氾濫域を判別することができた。MODIS が持つ高い時間分解能と広い観測範囲を保持しつつ、ASTER 等の持つ高い空間分解能を補完的に利用することにより、MODIS の画素内に混在している洪水氾濫域を抽出する手法を評価した。

MODIS 時系列データを活用した MLSWI 指数による自動水域抽出手法を用いることで、200km 以上の領域に渡る広域大洪水に対し、迅速にその氾濫域の全体像を把握することができることを示した。

しかし、本研究で利用した光学センサ画像は、しばしば悪天候時に雲被覆の影響を受けて地表面の観測ができなくなるため、SAR 画像を含めた補完手法についても

検討する必要があると考えられる。また、植生被覆域(森林や水田の区別)における浸水範囲の抽出精度の向上の課題が残っている。

さらに、洪水氾濫特性を正しく理解するためには、洪水氾濫域だけではなく、洪水氾濫の水理量(水深、氾濫流速等)を把握する研究も今後必要である。

## 参考文献

- 1) 大内 和夫, リモートセンシングのための合成開口レーダ(SAR)の基礎, 東京電機大学出版局, ISBN-10: 4501323302, 2004
- 2) WWDR3, Water in a changing world, 3<sup>rd</sup> UN World Water Development Report, UNESCO publishing, pp. 380-400, 2009
- 3) USGS (United States Geological Survey), MODIS MYD09, <ftp://e4ft101.cr.usgs.gov/MOLA/MYD09A1http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php>
- 4) Park J. and Y. Kwak : Determination of Inundation Area Based on Flood Hazard for a Global Water Risk Assessment, IAHS Publ. 347, pp. 61-64, 2011
- 5) Kwak Y., Park J. and K. Fukami: Nation-wide Flood Risk Assessment Using Inundation Level Model and MODIS Time-series Images, IEEE-IGARSS2011, pp. 4395-4398, 2011
- 6) Xiao X., Boles S., Liu J., Zuang D., Froelking S. & Li C., Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. Remote Sensing Environ, 95, pp. 480-492, 2005
- 7) Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25, pp. 295-309, 1988.
- 8) 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
- 9) 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, 43(6), pp. 7-19, 2005
- 10) NASA, SRTM Water Body Data (SWBD), 2003, [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SWBD](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SWBD)

## DEVELOPMENT OF ESTIMATION TO FLOODING AREA, VOLUME and DAMAGE USING REMOTE SENSING DATA

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Water-related Hazard Research Group  
(Hydrology and Hydraulics)

**Author** : FUKAMI Kazuhiko, SHIRATORI Akihiro,  
YOROZUYA Atsuhiko and KWAK Youngjoo

**Abstract** : Remote sensing is an effective method which is provided by satellite images to interpret and analyze wide-scale flooding. This research project is aiming to accurately estimate flooding areas and its hydraulic property with remote sensing information. As the first-year study, automatic and prompt extraction method of wide-area flooding area with a NDI (Normalized Difference Index), MLSWI (Modified Land Surface Water Index), with MODIS during the flooding of 2011 in Chao Phraya river basin, Thailand. Moreover, we examined the improvement of temporal / spatial resolution of MODIS-MLSWI using multiple other high-resolution sensors' information.

**Key words** : Remote sensing, flooding, NDMI, MODIS, MLSWI