

2011年タイ王国チャオプラヤ川 大氾濫の衛星解析

東京大学生産技術研究所*, タイ王国宇宙技術開発機構 (GISTDA)**

竹内 渉*, Preesan Rakwatin**

1. はじめに

1.1. 本研究の背景

タイ王国の中部に位置するチャオプラヤ川流域は、稲作地域、工業団地、住宅地が集積し、社会経済的に重要な地域である。2011年の5月から10月の雨期には、チャオプラヤ川流域の降水量は平年のおよそ1.4倍となり、発生確率は50年に一度の大雨となった。その結果、上流のチェンマイから下流のバンコクの広い範囲にかけて大洪水に見舞われた¹⁾。特に、洪水の被害を比較的受けにくいとされていたチャオプラヤ川左岸（川の東側）が最高2m冠水し、多くの日系企業を含む工業団地が大きな被害を受けた点は、過去に経験のないことであった。

この事態に対応して、広域な洪水範囲情報の提供を目的に、タイ王国宇宙技術開発機構 (GISTDA) をはじめとした宇宙機関が衛星データを提供し、カナダの極軌道衛星 (RADARSAT) などのSAR (synthetic aperture radar; 合成開口レーダー) 画像を基にした冠水図が2週間おきに新聞紙上に掲載された²⁾。当該地域における災害時の衛星データの有効性に対して、政治家を含めたタイ社会の注目が集まったという意味で一定の成果を得た。

一方で、2011年の洪水については、破堤あるいは越流位置と日時に関する情報は限定的であるため、標高差を基に水の流れを物理現象として記述する分布型流域モデルを用いても、洪水期間全体にわたる水の流れを表現することは難しい。また、チャオプラヤ川流域の開発が始まった過去50年スケールの氾濫履歴は、流域の工業団地の立地の妥当性を防災の観点から再検討するために必要な情報である。これには、衛星リモートセンシング

によって過去に観測されたデータを再処理することが有効であると考えられる³⁾。衛星による観測は、雲の影響を受けるが目視判読が容易な可視赤外面像と、全天候型の観測が可能だが判読が困難なマイクロ波画像の大きく2つに分けることができる。

1.2. 本研究の目的

本研究では、洪水の起こる雨期には雲が多いことを考慮し、衛星搭載センサーの世代交代に注意しながら、SMMR (scanning multichannel microwave radiometer; 多重チャンネルマイクロ波走査放射計), SSM/I (special scanning microwave imager; マイクロ波撮像装置), AMSR-E (advanced microwave scanning radiometer for EOS; 改良型高性能マイクロ波放射計) と3代にわたるマイクロ波放射計から得られる偏波情報を基本に、RADARSAT画像を援用しつつ、冠水域を日単位で抽出する手法を開発し、過去30年にわたるチャオプラヤ川の氾濫面積を推定することを目的とする。

2. 解析手法

2.1. 解析地域の地理的特徴

図1は、本研究の解析範囲であるチャオプラヤ川流域（北緯13-18度、東経99-102度）の流路網と土地被覆分類図を示している。これによると、南北を流れるチャオプラヤ川には複数の支流があり、複雑な流路網を形成している。一方、流路網の大部分は稲作を中心とした農地によって覆われており、川の河口部にバンコク都が位置している。

たけうち わたる, おりーさん らくわていん

2.2. 解析の流れと使用したデータ

図2は、性能の異なる複数の衛星搭載センサーを利用して、1982年から2011年までの洪水面積を算定する手法を示している。まず、SAR画像であるRADARSATを使用して目視判読と過去の氾濫図を参照しながら空間分解能100mの冠水分布図を作成した⁴⁾。次に、マイクロ波放射計 AMSR-Eの偏波画像から正規化偏波指数 (NDPI) を作成し、RADARSAT 冠水図をサブピクセル解析に援用することにより、空間分解能10kmの地表面冠水率 (LSWC) に変換した⁵⁾。次に、AMSR-Eと同様の性能を持つSSMIの偏波画像からNDPIを作成し、AMSR-Eから得られたLSWCを援用することにより、

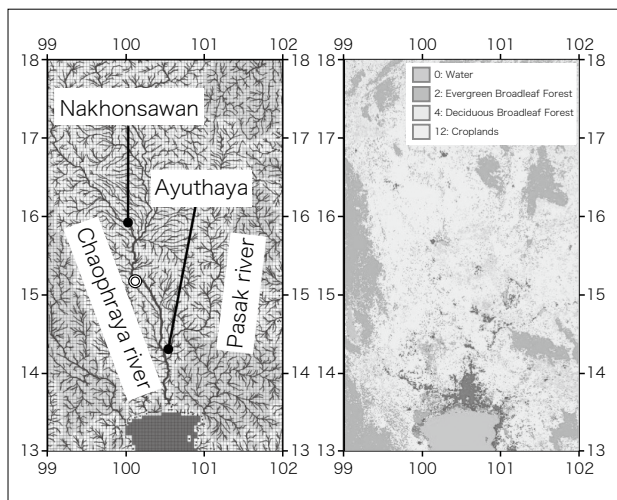


図1 チャオプラヤ川流域の流路網と土地被覆分類図

LSWCを作成した。同様に、SMMRの偏波画像とSSMIとを援用することにより、LSWCを作成した⁶⁾。これにより、異なる3つのマイクロ波放射計から1978年から2011年までの過去30年にわたるLSWCデータベースを作成した。一方で、2001年から2011年については、MODISのNDVI画像を用いて稲作地域を抽出し、氾濫面積全体から水田の冠水域を減ずることにより、過去30年にわたるチャオプラヤ川の氾濫面積を推定した。

3. 解析結果

3.1. センサー交代の校正結果

図3は、RADARSATとAMSR-Eから求めた2011年8月30日の冠水を比較した図で、画像が明るいほど冠水していることを示している。AMSR-Eから求めた冠水図は、RADARSATのそれと比べて明るい領域がより明るく、暗い領域がより暗く協調されている。暗い領域が過小評価されているのは、画像の取得された8月30日に水田に稲が繁茂していることがMODIS NDVI画像から確認されており、表面粗度の上昇に伴い垂直と水平偏波の差 (VV-HH) が減少した結果であると考えられる。RADARSATから得られた冠水図を真値としてAMSR-Eと比較した結果、AMSR-Eを用いた冠水図も空間的な特徴を十分にとらえていると判断した。

3.2. 2011年チャオプラヤ川流域の冠水時系列変動

図4は、冠水率 LSWCから求めた2011年4月から

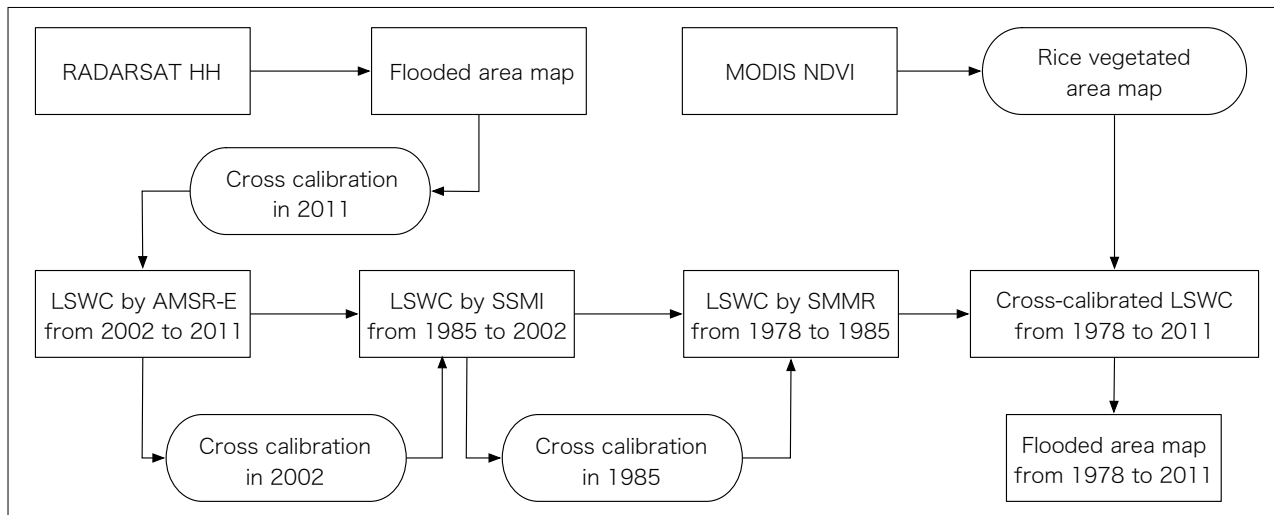


図2 性能の異なる複数の衛星搭載センサーを利用して洪水面積を算定する手法。(a) RADARSAT(100m解像度)、(b) AMSR-E(10km解像度)

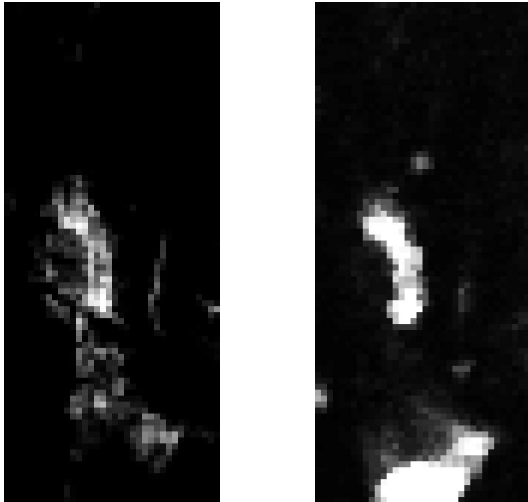
2011 年 10 月までの10 日ごとの冠水図を示している。これによると、5 月から6 月の雨期の開始時に、画像中央と上部のチャオプラヤ川流域に広がる水田への引水が見られ、6 月半ばにはいったん収まる。8 月上旬には、画像中央に位置するピサヌロック付近で冠水率が高ま

り、10 月初めにかけて徐々に南下していく様子がはっきりと確認できる。

次に、解析範囲をナコンサワンの北部と南部とに分けて、図 5 に示すように、LSWC から求めた 2011 年と 2006 年の日冠水率の変化と過去 8 年の平均値との比較を行った。

図 5-(a) に示す流域全体の傾向は、9 月中 (DOY が 240 から 270 付近) に過去 30 年間で最大の雨量が観測され、ダム の貯水量も限界に達していたため、連続的に放水が行われ、冠水が広がったものと考えられる。AMSR-E が 2011 年 10 月 3 日で観測を終えたため、最大冠水面積を得ることは難しいが、10 月 3 日のピーク面積で比較すると、2011 年は 35000 (km²)、2006 年の大洪水は 25000 (km²) が冠水したと推定された。

図 5-(b) に示す 2011 年のナコンサワン以北の冠水率の変化を見ると、DOY が 220 (8 月 10 日) から 280 (10 月 3 日) にかけて、DOY が 250 (9 月 5 日) と 265 (9 月 25 日) 付近でいったん減少するものの、冠水率が単調増加の傾向を示している。ナコンサワン以北に位置するシリキットダム、クワノイダム、プミポンダムなどから放水が行われた時期と重なっている。北部で冠水率の



(a) RADARSAT(100m 解像度) (b) AMSR-E (10km 解像度)

図 3 RADARSAT と AMSR-E から求めた 2011 年 8 月 30 日の冠水と比較した図。画像が明るいほど冠水していることを示している

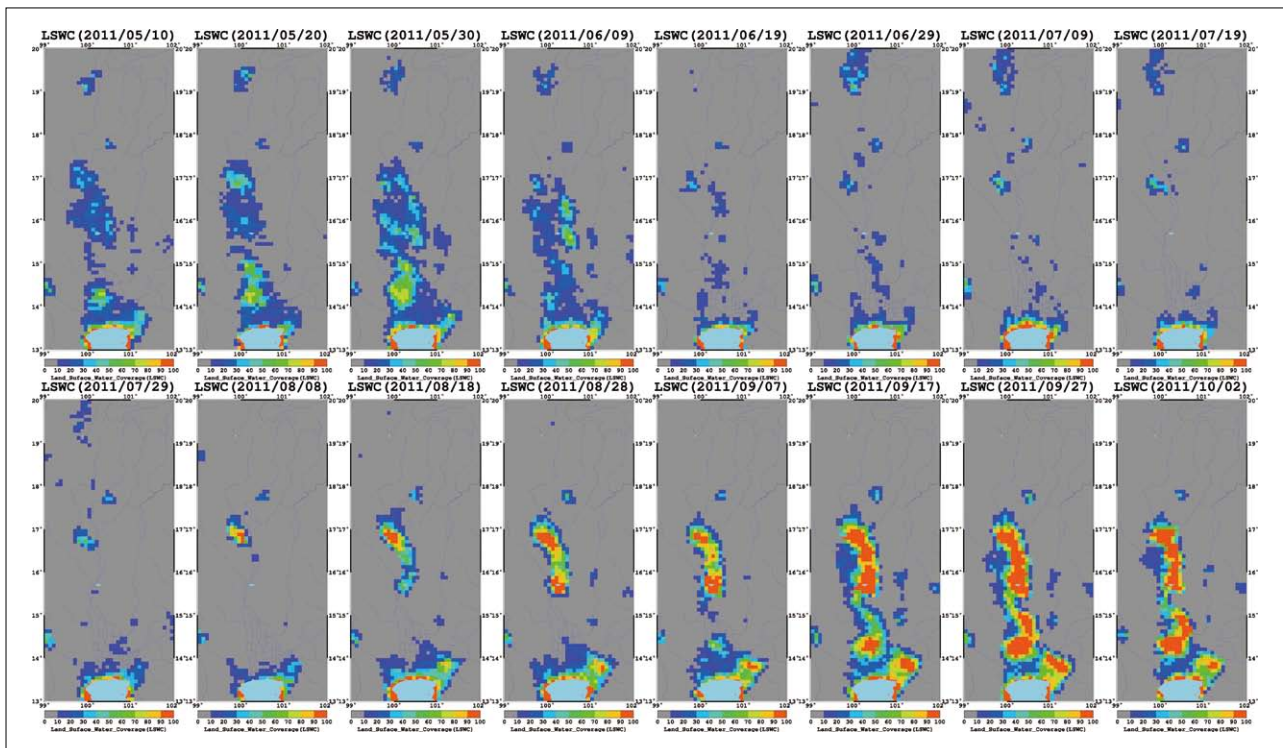


図 4 LSWC から求めた 2011 年 4 月から 2011 年 10 月までの 10 日ごとの冠水図

減少が見られるときは、図 5-(c) に示す南部で冠水率が上昇していることから、洪水が北部から南部に流下したことが予想される。

3.3. 最大冠水面積の過去 30 年間の推移

次に、同様にして解析範囲をナコンサワンの北部と南部とに分けて、図 5 に示すように、AMSR-E と SSMI から求めた LSWC を用いて、1987 年から 2011 年までの月ごとの冠水率の変化を調べた。これによると、2002 年は AMSR-E と SSMI との 2 つの観測データが示されているが、代替校正を行った結果、2 つの結果はよく一致している。図 5-(a) によると、流域全体の年間の最大冠水面積は 1997 年の 12500 (km²) から 2011 年の 35000 (km²) まで年によって大きく変動することが分かる。年間の最小値に着目すると、1987 年の 5000 (km²) から 2011 年の 7000 (km²) まで徐々に増加傾向を示していることが分かる。この原因としては、センサーの交代の影響が取り除けていない、チャオプラヤ川の流域面積が拡大した、灌漑設備の整備が進んだことが考えら

れる。

4. まとめ

本研究では、衛星搭載センサーの世代交代に注意しながら、SMMR、SSMI、AMSR-E と 3 代にわたるマイクロ波放射計から得られる偏波情報を基本に、RADARSAT 画像を援用しつつ、冠水域を日単位で抽出する手法を開発し、過去 30 年にわたるチャオプラヤ川の氾濫面積を推定した。その結果、次のような知見が得られた。

- ・ 5 月から 6 月の雨期の開始時に、画像中央と上部のチャオプラヤ川流域に広がる水田への引水が見られ、6 月半ばにはいったん収まる。8 月上旬には、画像中央に位置するピサヌローク付近で冠水率が高まり、10 月初めにかけて徐々に南下していく様子がはっきりと確認できた。
- ・ AMSR-E と SSMI から求めた LSWC を用いて、1987 年から 2011 年までの月ごとの冠水率の変化を調べたところ、2002 年の相互校正の結果は良好で、流域全体の年間の最大冠水面積は 1997 年の 12500 (km²) から 2011 年の 35000 (km²) まで年によって大きく変動することが分かった。
- ・ 冠水面積の過去 25 年間の最小値に着目すると、1987 年の 5000 (km²) から 2011 年の 7000 (km²)

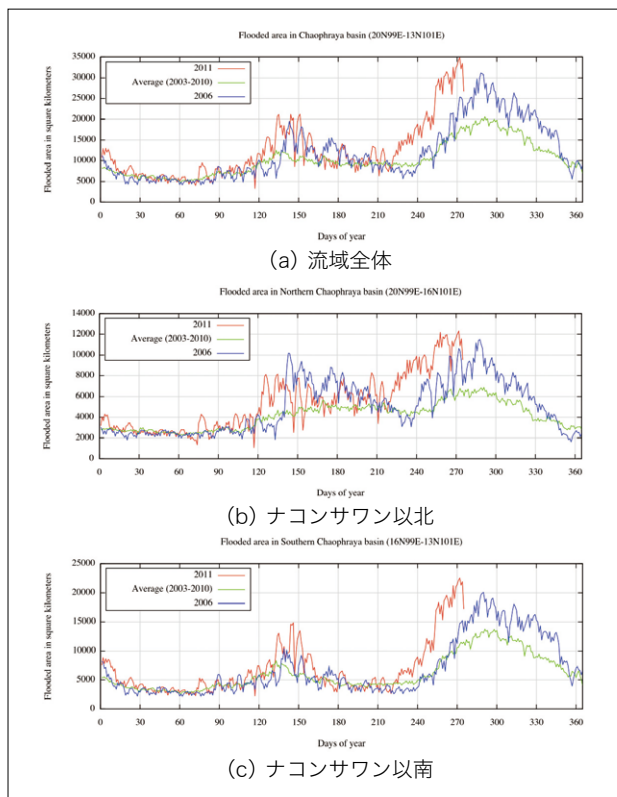


図 5 LSWC から求めた 2011 年と 2006 年の日冠水率の変化と過去 8 年の平均値との比較。(a) 流域全体、(b) ナコンサワン以北、(c) ナコンサワン以南

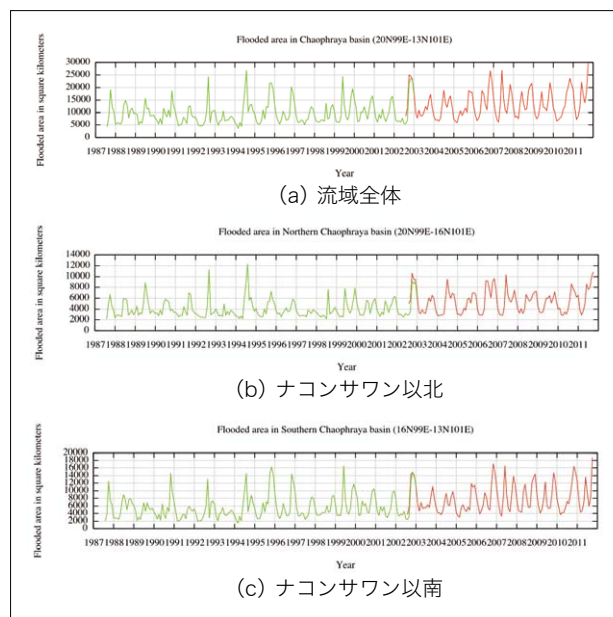


図 6 LSWC から求めた 1987 年から 2011 年までの月ごとの冠水率の変化。(a) 流域全体、(b) ナコンサワン以北、(c) ナコンサワン以南

まで徐々に増加傾向を示してしていることが分かった。

2012年5月にはAMSR-Eの後継機AMSR2を搭載した地球観測衛星「しずく」が宇宙航空研究開発機構(JAXA)より打ち上げられ、間もなく、より高品質なデータが継続して提供される。地球観測が、環境変動を中心とした学術研究のみならず、災害観測や防災にも資するプラットフォームであることは疑う余地がない。衛星の打ち上げ、データの取得、社会知への変換の一气通貫を実現することによって初めて、実利用にも資する真のインフラとしての価値が認められるのではないだろうか。

参考文献

- 1) 小森大輔, 木口雅司, 中村晋一郎: “2011年タイ国チャオプラヤ川大洪水の実態および課題と対策”, 河川, Vol. 1, No. 786, pp.18~25 (2012)
- 2) Bangkok post, Oct. 27 (2012)
- 3) S. J. Sippel, S. K. Hamilton, J. M. Melack, and B. J. Choudhury: “Determination of inundation area in the Amazon River floodplain using the SMMR 37 GHz polarization difference,” Remote Sensing of Environment, Vol. 48, pp. 70~76 (1994)
- 4) GISTDA, <http://floodmap.gistda.or.th/>
- 5) W. Takeuchi, and L. Gonzalez: “Blending MODIS and AMSR-E to predict daily land surface water coverage,” International Remote Sensing Symposium (2009)
- 6) NSIDC, <http://nsidc.org/>