

インドネシアCitarum川流域の水田耕区における氾濫解析

日本大学大学院工学研究科 竹田稔真

日本大学工学部 河村弘仁

日本大学工学部 朝岡良浩

日本大学工学部 若林裕之

IPBUniversity Boedi Tjahjono

ProvincialOfficeofFoodCropsandHorticultureofWestJavaProvince Sitaresmi Dewayani

1. はじめに

インドネシアの主要産業には農業があり、コメの生産量は世界3位である。生産されたコメは主に国内で消費され、不作に備えて輸入したコメを備蓄していることから国民の食生活を大きく支えていることがわかる。同時に、コメが不作に陥ると国民の食料が失われることに加えて農家の収入にも影響を及ぼすと考えられる。

インドネシアの気候は図1に示すように乾季と雨季が明確に分かれている。図1の降雨量はJAXA/EORCより提供されたGSMaP(全球降水マップ)プロダクトによるデータである¹²⁾¹⁴⁾。乾季の月降雨量は10に近いことも珍しくないため、干ばつによりコメ収量が減少する。一方で雨季は、日本の梅雨のように長期間降り続くのではなく図2のとおり短期間で集中的な豪雨が発生するような降雨形態である。そのため雨季は水害が発生しやすく、水田耕区や家屋が1m以上浸水することも珍しくない。同時に、降雨は営農に欠かせない水資源でもあり氾濫特性とコメの栽培形態には密接した関係がある。これらを受けてインドネシア政府は農業保険制度を導入し、コメ収量への損害を農家に補償し始めた。これまで被害状況は専門スタッフによる現地調査によって決定されてきた。

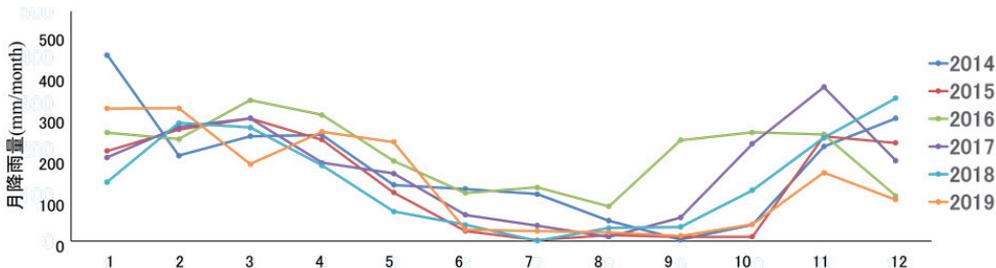


図1 インドネシアBojongsrang地区の月別降雨量

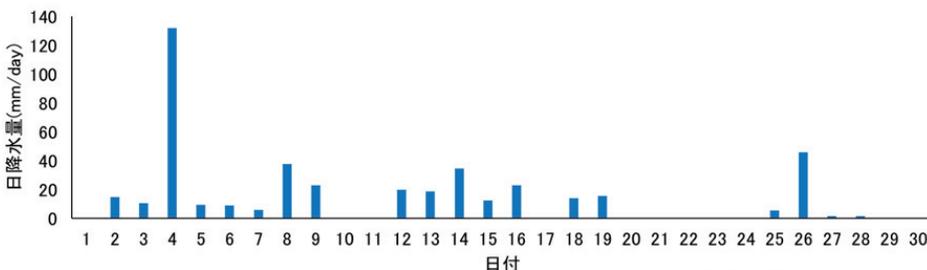


図2 インドネシアBojongsrang地区の4月の日別降雨量

* Inundation analysis of rice paddy field in the Citarum river basin, Indonesia by Toshimasa Takeda, Hiroto Kawamura, Yoshihiro Asaoka, Hiroyuki Wakabayashi, Boedi Tjahjono and Sitaresmi Dewayani

しかしながら水田耕区は膨大であり目視や聞き込み調査等では被害実態の把握が難しいだけでなく、調査に要する時間やコストも甚大である。この問題を解決するために、空間情報を駆使した効率的な損害評価方法が開発されている⁹⁾。その一つとして、インドネシアのBojongsong地区を対象に衛星データを用いた浸水域の抽出手法が開発されてきた⁷⁾。この研究により、SARデータを用いることで天候に関わらず10m分解能の高解像度で対象地域の浸水域を推定できる。しかし、把握可能な時間分解能は衛星の回帰日数に依存し、浸水域は推定できるが浸水深を測定できない2つの問題点がある。

上記した2つ問題点を補う手法として、数値シミュレーションによる浸水域と浸水深の時系列予測が検討されている。日本の低平農業地帯を対象として、土地利用を考慮した内水氾濫解析モデルを開発した事例⁹⁾では氾濫現象を概ね再現できた。本研究ではインドネシアのBojongsong地区の内水氾濫シミュレーションを行い、衛星データから抽出した浸水域を真値と仮定してシミュレーションによる浸水域と比較することで同地区における氾濫解析の課題と氾濫の特性を明らかにした。

2. 研究手法

(1)対象地域及び用いるデータの概要

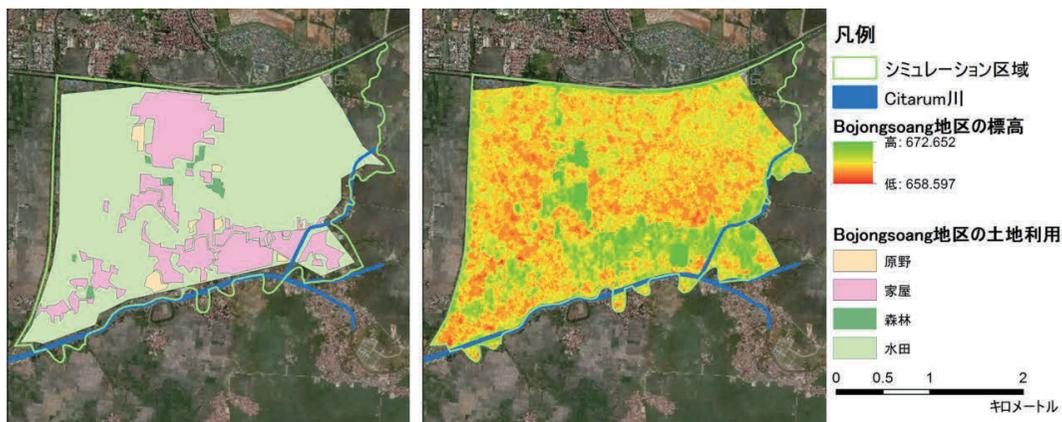


図3 インドネシア Bojongsong 地区の概要(左：土地利用，右：標高)

本研究で対象としたインドネシアBojongsong地区の東部はCitarum川沿いに位置する。本来ならばCitarum川からの越流も考慮すべきだが、データ不足のためシミュレーションは内水氾濫に着目した。図3左の土地利用分類は地図をデジタル化して作成されたもので、本区域は水田の占める割合が多く浸水によって生じるコメへの被害は甚大となる。図3右はALOS衛星の画像データから作成された5m分解能のDSM(Digital Surface Model)である。

(2)シミュレーションの手法

シミュレーションは降雨と初期条件となる水深を入力して、各メッシュの浸水深を出力する。降雨は現地設置した転倒マス型雨量計のデータを用いる。初期条件は衛星データから抽出した浸水域を満たすような浸水深を仮定して与える。メッシュは、5m分解能のDSMを基に作成したTINデータである。

各メッシュの土地利用を原野、家屋、森林、水田の4種類に区分し、それぞれ水理公式集¹⁰⁾をもとに流出係数と粗度係数を設定した(表1)。なお、解析期間は営農期であり水田は水で満たされていると想定したため流出係数は1.00とした。これらのデータを式(1)-(3)に示す平面2次元不定流の運動方程式に入力し、有限要素法を用いて浸

表1 粗度係数と流出係数

	原野	家屋	森林	水田
粗度係数	0.03	0.65	0.04	0.03
流出係数	0.50	0.90	0.65	1.00

水深を算出した。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(MU)}{\partial x} + \frac{\partial(NU)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{1/3}} U \sqrt{U^2 + V^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(NU)}{\partial x} + \frac{\partial(MU)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{1/3}} V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3)$$

ここに、 h : 水深(m), H : 水位(m), g : 重力加速度(m/s), M : x 方向の流量フラックス(m³/s), N : y 方向の流量フラックス(m³/s), U : x 方向の平均流速(m/s), V : y 方向の水深平均流速(m/s), n : 粗度係数である。計算時間間隔は 10 分とした。

(3)シミュレーションの対象期間

対象とした期間は4月2日0:00から4月5日0:00である。図4は衛星データから抽出した浸水域であり、左が4月1日、右が4月4日である。4月1日の浸水域と対象期間の降雨(図5)を入力して4月4日の各メッシュの浸水深を算出し、計算した浸水域と図3右を比較することでシミュレーションの課題と氾濫の特性を論じる。対象期間の総雨量は157mm, 最大降雨強度は78.6mm/hrである。

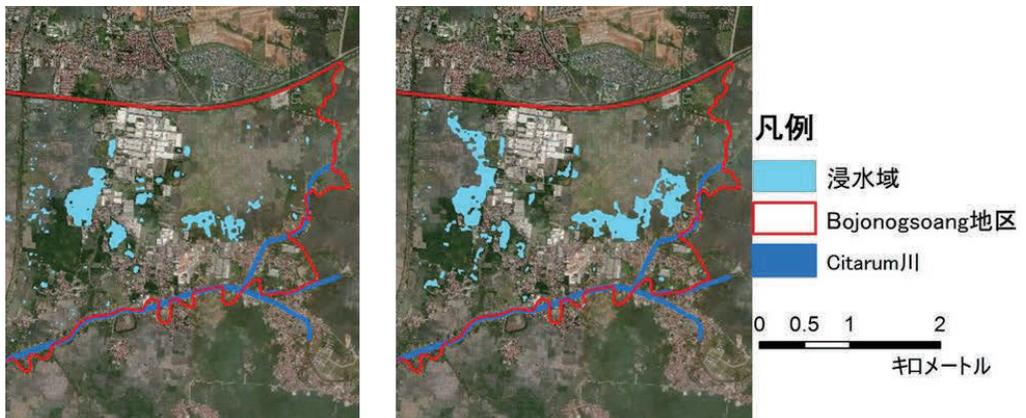


図4 衛星データから抽出した浸水域 (左:4月1日, 右:4月4日)

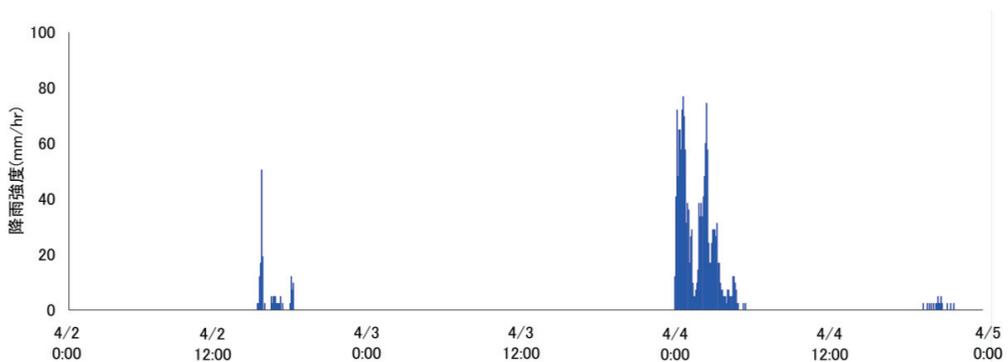


図5 入力する降雨強度

(4)初期条件の作成方法

衛星データを用いることの問題点に浸水深は推定できないことが挙げられた。そのため、初期条件として与える4月1日の水深は以下の方法によって決定した。任意の浸水域内の標高から最大値を抽出し、その値に0.1m足した値を浸水位として浸水域内に与える。図6を参考に、浸水域内に存在する標高の最大値がZmならば、浸水位はZ+0.1mと仮定して浸水域内に一様に与える。

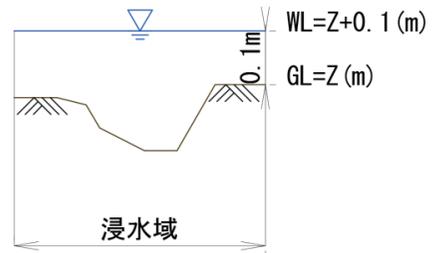


図6 初期条件の作成方法のイメージ

3. シミュレーション結果

図7は算出した4月5日0:00時点の浸水域と浸水深である。なお、本研究では浸水深が10cm以上の場合を浸水と仮定した。青色系統で表した箇所が計算値による浸水域で、オレンジ線で囲まれた範囲が衛星データから抽出した浸水域である。シミュレーションの結果、区域全体で見た場合は浸水域を過大評価した。一方で衛星データから抽出した浸水域内に着目した場合、St.C以外のエリアでは概ねシミュレーションと衛星データが一致した。しかし、St.C付近では過小評価となった。

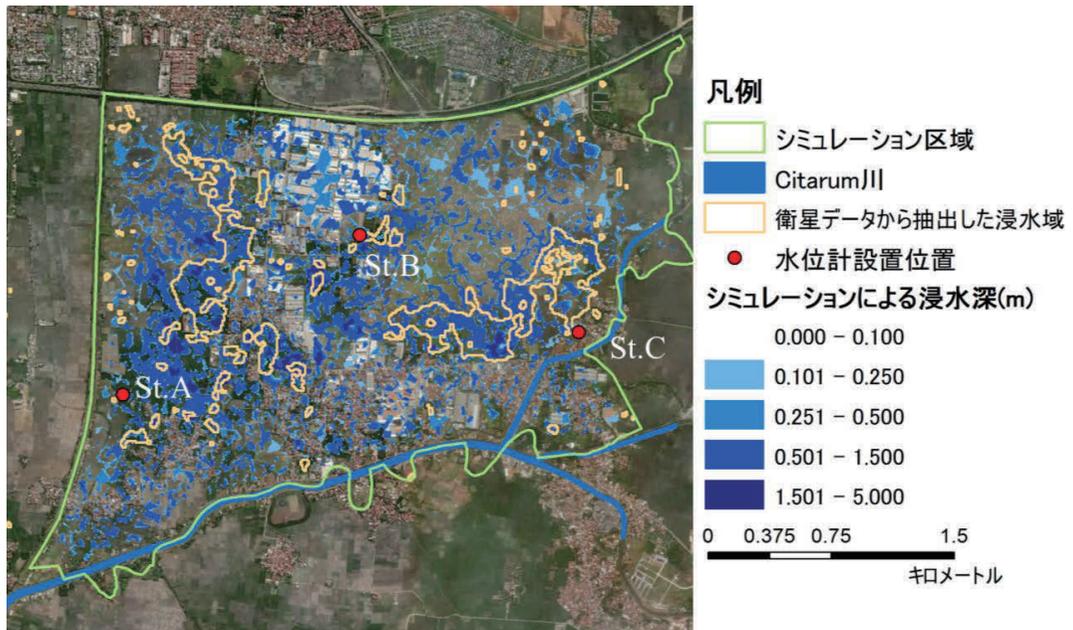


図6 浸水シミュレーションの結果

4. シミュレーションと衛星データの違いに対する考察

シミュレーションの精度向上を目的として、現地へ赴き図7のSt.A, B, Cそれぞれ3地点に水位計を設置するとともに現地調査により浸水の情報を得た。それらを基に、3地点を対象としてシミュレーションと衛星データが一致しなかった原因を考察した。

(1)St.A地点

St.A付近は、衛星データでは浸水となっていないがシミュレーション結果は浸水となったエリアが多く存在した。図2左の土地利用によれば当該エリア帯に水田が広がっており、現地調査したところシミュレーション区域西側

を縦断する線に沿って河川が存在した。本来であれば水田の水は排水路を通じて河川に排水されるが、氾濫モデルに排水路を導入していないため再現に至らなかった。本区域の排水路網を把握して再現することで、シミュレーションの精度は向上する推察される。

(2) St.B地点

St.Bの北部一帯には工業団地が存在しており、この箇所も衛星データでは浸水していないがシミュレーションでは浸水となった。本来であれば降雨は建物同士の隙間を抜けて東側の水田に向かって流れ、St.B地点のオレンジ線で囲まれた水田が浸水域となる。しかし、今回用いた表層データは5m分解能であり建物の形状を精緻に再現していない。そのため工業団地内に窪地が出来てしまい、水が窪地に貯留され続けることになりシミュレーションのみで浸水という結果になったと考えられる。St.Bの南と東も同様に浸水域を過大評価しているが土地利用は水田のため、St.Aと同様に排水路網を把握することで解決できる。

(3) St.C地点

上記2点と異なり、St.Cにおいては浸水域を過小評価した。現地の浸水痕を調査したところ、当地点の氾濫原は東部を流れるCitarum川と推定された。現時点では内水氾濫のみを考慮しており、外水の影響は取り扱っていない。しかし、この地点は外水氾濫を原因とする浸水被害のためシミュレーションと衛星データの違いが生じたことが明らかとなった。

また、全ての地点においてシミュレーション上で蒸発等の損失過程を考慮していない。そのためシミュレーション区域全体で水が残り続けるため過大評価している事も考えられる。加えて、初期条件として入力した4月1日の浸水深はDSMを元に作成したがその信頼性についても今後は言及していく必要がある。

5. まとめ

本研究はインドネシアBojongsong地区の東部を対象として、降雨と衛星データから抽出した浸水域を基に作成した浸水深を入力して各メッシュの浸水深を算出した。計算結果と衛星データを比較することで得られた知見を以下に示す。

- 1) 衛星データとシミュレーションによる浸水域が一致している箇所は内水氾濫が浸水の原因と考えられる。一方でSt.C地点は浸水域を過小評価していることに加え、現地調査からもCitarum川を氾濫原とした外水氾濫による浸水と推定される。
- 2) シミュレーション区域全体の水田で浸水域を過大評価した。現実にはSt.A、B付近の水田に貯留された降雨は排水路を通じて河川に流出すると考えられるがシミュレーション上では考慮していないため衛星データと異なる結果になった。排水路網を把握し、蒸発散等の損失過程をモデルに組み込むことで計算の精度が向上すると考えられる。

本研究よってシミュレーション上の課題や、モデルの精緻化に必要なデータが明らかとなった。今後の展望として上記した課題の解決に加え、現地に設置した水位計のデータを基に浸水深について精度を検証することがあげられる。初期条件として与える浸水深は、水位計の値を用いることで信頼性が向上する。

謝辞

本研究の一部はJST/JICA SATREPSの支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) K. Okamoto, T. Iguchi, N. Takahashi, K. Iwanami and T. Ushio, 2005 : The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) project, 25th IGARSS Proceedings, pp.3414-3416.
- 2) T. Kubota, S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. N. Takayabu,

- K. Nakagawa, K. Iwanami, T. Ushio, M. Kachi, and K. Okamoto, 2007 : Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol.45, No.7, pp.2259-2275.
- 3) K. Aonashi, J. Awaka, M. Hirose, T. Kozu, T. Kubota, G. Liu, S. Shige, S. Kida, S. Seto, N. Takahashi, and Y. N. Takayabu, 2009 : GSMaP passive, microwave precipitation retrieval algorithm : Algorithm description and validation. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 119-136.
 - 4) T. Ushio, T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N. Takahashi, T. Iguchi, M. Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki, 2009 : A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. J. Meteor. Soc. Japan, 87A, 137-151.
 - 5) 春山成子, 伊藤健, 桶谷政一郎, 2009 : 洪水氾濫特性と水稻栽培パターン—カンボジア・メコンデルタを事例として—, 農村計画学会誌, Vol18, No.2, pp.57-63.
 - 6) Hongo, C, and Baba, B., 2017: SATREPS Project : https://www.jst.go.jp/global/english/kadai/h2804_indonesia.html, 2019.
 - 7) H. Wakabayashi, K. Motohashi, T. Kitagami, B. Tjahjono, S. Dewayani, D. Hidayat, C. Hongo, 2019 : Flooded area extraction of Rice paddy field in Indonesia using Sentinel-1 SAR data
The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science-Sciences, Volume XLII-3/W7, pp.73-76.
 - 8) 吉川夏樹, 宮津進, 安田浩保, 三沢眞一, 2011 : 低平農業地帯を対象とした内水氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No.4, I_991-I_996.
 - 9) Hanidya, F. S., 2018: Flood Vulnerability Analysis in Bojongsoang District, Bandung Regency, Graduation Research of Land Resource Management Study Program, Bogor Agricultural University (IPB).
 - 10) 土木学会:水理公式集[2018年版], pp.494.