

# 海外河川の洪水流出計算に必要な入力条件の検証

## ～インドネシア・Ciliwung 川の例～

Verification of Input Conditions Required to Improvement of Occuracy of Flood Runoff Calculation in Overseas Rivers  
 ～A Case Study of the Ciliwung River in Indonesia～

室蘭工業大学 ○学生員 星野 佳太 (Keita Hoshino)  
 室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)  
 室蘭工業大学 学生員 吉田 ちあき (Chiaki Yoshida)

### 1. はじめに

近年、世界規模で大雨に伴う洪水が頻発し、大きな被害が発生している。今後さらに地球温暖化が進行するとアジア・アフリカの湿潤地域での洪水リスクが増大する可能性があるとして平林ら<sup>1)</sup>は提言している。

そのような中、インドネシアは毎年集中豪雨に見舞われており、特にジャワ島西部の Ciliwung 川では、河川流域内にある Jakarta 市で近年洪水被害が頻発している。それを背景に洪水解析を行った事例として、過去の最大日降水量事例と 2014 年 1 月の洪水の動向を検証した Siswanto ら<sup>2)</sup>の研究、レーダー雨量を使用して Ciliwung 川の洪水解析を行った Hapsari ら<sup>3)</sup>の研究がある。ここで問題となるのは Ciliwung 川などジャワ島西部に位置する河川は地理情報、水文情報が日本のように充実していないため、解析を行うにあたってはデータが乏しいことを勘案しなければならないことである。そこで、本研究では水文データの観測が乏しい流域への適用を想定して開発された IFAS<sup>4)</sup>を用い、近年の洪水事例を対象に流出計算を行った。この際、IFAS への入力条件の違いによる計算結果を比較し、海外河川の洪水流出計算に最適な入力条件の検証を行う。検証の内容を以下に示す。

- 最初に国内事例として九州の肝属川（きもつきがわ）を対象とした流出計算を行う。この際、異なるデータソース及び異なる手法で抽出された流域界を用いた流出計算の結果を比較する。
- Jakarta に被害をもたらした Ciliwung 川の 2013 年 1 月の洪水事例を対象とした流出計算を行う。この際、1) と同様に抽出した流域界の違いを検証する。
- Ciliwung 川の 2013 年 1 月と 2014 年 1 月の洪水事例を対象とした流出計算を行う。この際、衛星雨量の補正の有無による結果の妥当性を検証する。

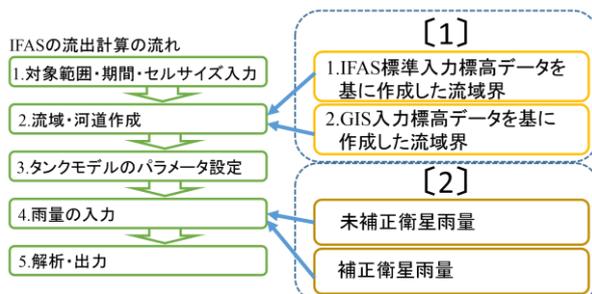


図-1 IFAS による流出計算の流れ

### 2. 研究方法

#### 2.1 流出計算モデル (IFAS)

IFAS とは国立研究開発法人土木研究所 ICHARM で開発された総合洪水解析システム (Integrated Flood Analysis System) の略称であり、数値標高モデル、土地利用情報、衛星雨量を駆使することで、観測データがない条件下でも流出計算が行えるメリットがある。IFAS による流出計算の流れを図-1 に示す。今回の検証では [1] 流域、河道作成と [2] 雨量の入力時の操作に着目し、入力条件の違いによる流出計算結果を比較する。ここで [1] の 2 については、事前処理として ArcGIS を用いて標高データを基に作成した流域界のシェープファイル (図形情報と属性情報をもった地図データファイルの集合ファイル) を IFAS に入力するという操作を行う。

#### 2.2 標高データ

表-1 標高データ (IFAS 標準入力標高データ)

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
Global Map	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
GTPOD30	USGS	30秒(1km)	WGS84	全球
Hydro1k	USGS	1km	ランベルト正積方位図法	全球

表-2 標高データ (GIS 入力標高データ)

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
ASTERGDEM	ISCGM	30m	WGS84	全球
基盤地図情報 数値標高モデル	国土地理院	10m	WGS84	日本国内

表-3 衛星雨量データ

名前	提供	対象範囲	空間解像度	時間解像度	配信遅れ
3B42RT	NASA	50N-50S	0.25°	3時間	10時間
CMORPH	NOAA	60N-60S	0.25°	3時間	15時間
QMORPH	NOAA	60N-60S	0.25°	30分	2.5時間
GSMaP_NRT	JAXA	60N-60S	0.1°	1時間	4時間

表-4 土地利用データ

名前	提供	空間解像度	座標系	範囲
Global Map (Land Cover)	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
Global Map (Land use)	ISCGM	30秒(1km)	WGS84	全球
GLCC	USGS EDC	1km	ITRF94 GRS80	全球

表-5 河道網データ

名前	提供	座標系	範囲
国土数値情報 河川データ	国土交通省	JGD2000	日本国内
ユーザー作成 河道網データ	GoogleMapより得た 河川の座標を使用	WGS84	全球

今回使用する標高データは、IFAS に実装された標準機能でダウンロード可能な入力標高データ（以下、IFAS 標準入力標高データ）、IFAS とは別枠で ArcGIS といった GIS ソフトに入力する標高データ（以下、GIS 入力標高データ）の 2 種類がある。それぞれのデータの概要を表-1、表-2 に示す。

2.3 雨量データ

IFAS でダウンロード可能な衛星雨量を表-3 に示す。本研究では IFAS に実装されている補正機能が適用できる衛星雨量データとして GSMaP\_NRT を用いる。なお、衛星雨量は倍率補正手法により補正され、衛星雨量に掛ける倍率は雨域の移動速度によって決定される<sup>5)</sup>。

また、IFAS には離散的な観測地点の雨量と座標をセットで入力することで、ティーセン分割した範囲のメッシュに各観測地点の雨量を与える機能が搭載されている。

2.3 土地利用データ

IFAS でダウンロード可能な土地利用データを表-4 に示す。本研究では GlobalMap (Land Cover) を使用した。

2.4 河道網データ

IFAS ではシェープファイル形式の河道網データを入力することにより、作成される河道網の形状を補正する機能がある。河道網データを表-5 に示す。河道網データは、公開されている国土数値情報の河川データ等だけでなく、ユーザーが GIS ソフトを用いて河川の座標から作成したデータを入力することもできる。

2.5 対象事例

(1) 肝属川の事例

観測データが充実している国内の洪水事例を対象に、計算精度の検証を行う。国内事例には Ciliwung 川流域とほぼ同じ流域面積である肝属川を選んだ。肝属川は日本の鹿児島県を流れている公称流域面積 485 km<sup>2</sup>、幹線河道延長 34km の一級河川である。計算地点は図-2 に示す俣瀬観測所（公称集水面積 450 km<sup>2</sup>）とする。流出計算は 2005 年 9 月 4 日～9 日の洪水事例について行う。ここで、IFAS の計算条件として、セルサイズ 0.5km、標高データに GTOPO30、土地利用データに GlobalMap (Land Cover)、雨量データに地上観測雨量、河道網データに国土数値情報河川データを使用した。

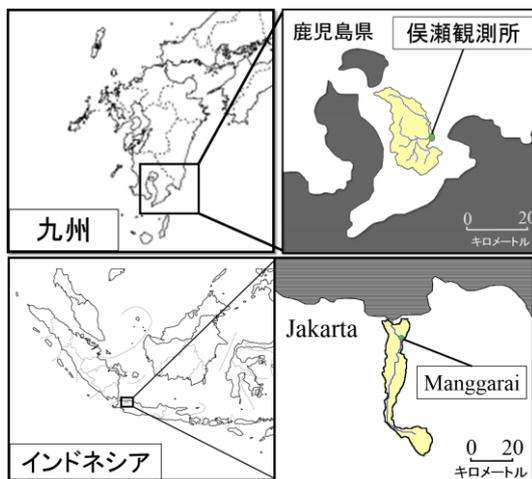


図-2 計算地点

(2) Ciliwung 川の事例

Ciliwung 川はインドネシア・ジャワ島西部の Jakarta 市の中央を流れており、流域面積は 476km<sup>2</sup>、全長約 120km の河川である。河川は Jakarta 市の地形が低平であることや、水源である南部の Bogor 市や Depok 市の都市化による人口増加と森林伐採によって近年洪水の被害が拡大している<sup>6)</sup>。計算地点は図-2 に示す Jakarta 市 Manggarai とする。流出計算は 2013 年 1 月 14 日～19 日、2014 年 1 月 9 日～14 日の 2 事例について行う。

IFAS の計算条件として、セルサイズ 1km、標高データに GTOPO30、土地利用データに GlobalMap (Land Cover)、雨量データに GSMaP\_NRT、河道網データにフリーでダウンロードできる GIS ソフト、QGIS<sup>7)</sup> で作成したユーザー作成河道網データを使用した。

3. 結果と考察

3.1 流域界の抽出結果

表-6 流域界作成条件

ケース	対象事例	流域界作成 使用標高データ	抽出される流域 標高データ	流域界作成ソフト
①	肝属川 2005年	GTOPO30	GTOPO30	IFAS
②	肝属川 2005年	基盤地図情報数値標 高モデル	GTOPO30	ArcGIS
③	肝属川 2005年	ASTERGDEM	GTOPO30	ArcGIS
④	Ciliwung川 2013年	GTOPO30	GTOPO30	IFAS
⑤	Ciliwung川 2013年	ASTERGDEM	GTOPO30	ArcGIS

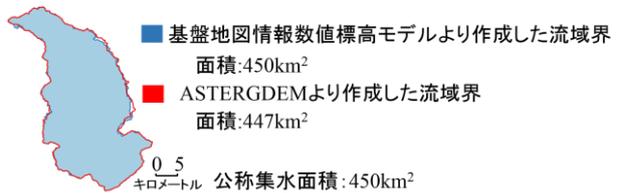


図-3 ArcGIS で作成した流域界の比較

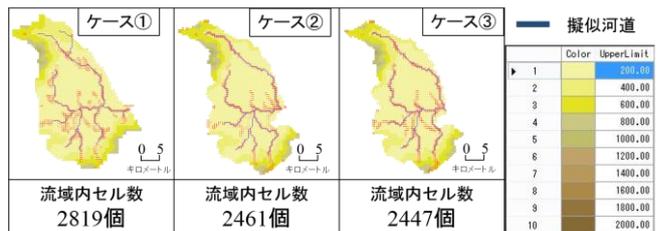


図-4 IFAS で計算時に利用する流域の比較

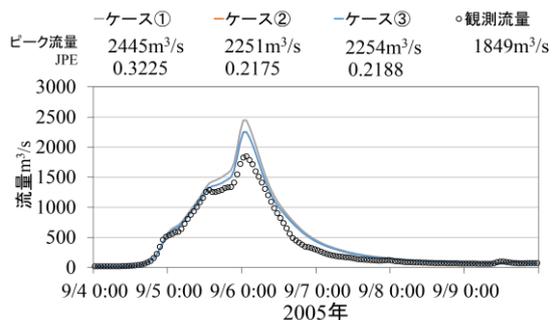


図-5 肝属川の各流域による流量比較

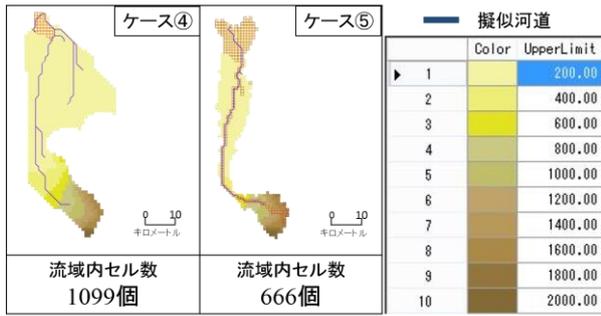


図-6 IFAS で計算時に利用する流域の比較

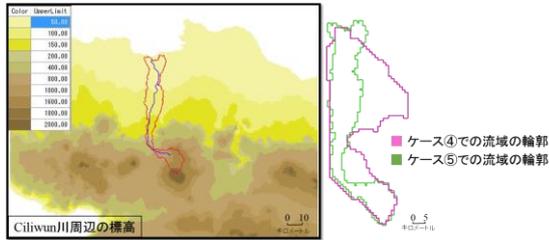


図-7 Ciliwung 川流域と周囲の標高データ

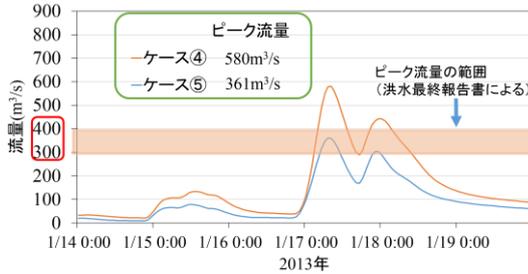


図-8 Ciliwung 川の各流域による流量比較

表-6 に示す条件により、流域界の抽出方法が流出計算の結果に与える影響を検証する。

(1) 肝属川の事例

基盤地図情報数値標高モデルから作成した流域界と、ASTERGDEM から作成した流域界を重ねたものを図-3 に示す。ASTERGDEM は表-2 に示す通り基盤地図情報数値標高モデルに比べ粗いデータであるが、二つの流域界の形状、面積はほぼ同じであることが図-3 より確認できる。また、公称集水面積 450km<sup>2</sup> と二つの流域界の面積を比較すると、差異が小さいため、両者のデータによる流域界抽出は妥当であることがわかる。

次にケース①～③の条件で IFAS により抽出した流域を図-4 に示す。ケース②、③では流域がほぼ同じ形状をしているのに対し、ケース①の流域はケース②、③の流域よりも大きく作成されていることが確認できる。この違いについては、ケース①はケース②、③よりも使用した標高データの空間解像度が粗いため、流域が大きく抽出された結果とみられる。

さらに、ケース①～③の流出計算結果と俣瀬観測所の観測流量と比較した結果を図-5 に示す。まず各々のケースの結果に注目すると、ピーク流量に若干の誤差が見られるが、立ち上がり、減衰期はほぼ一致している事が確認できる。また、各々のケースの流出計算結果を比較すると、ケース②、③の計算流量は観測流量に若干近い

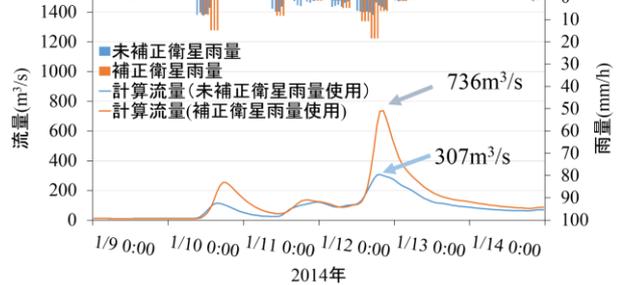
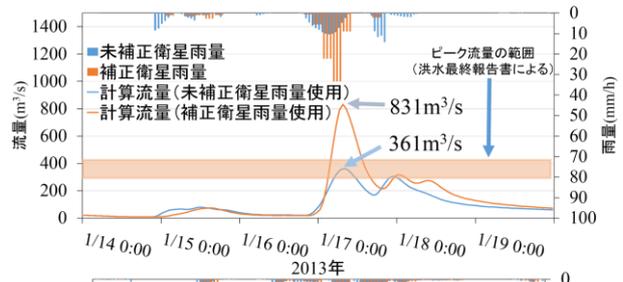


図-9 衛星雨量の未補正と補正による流出計算結果

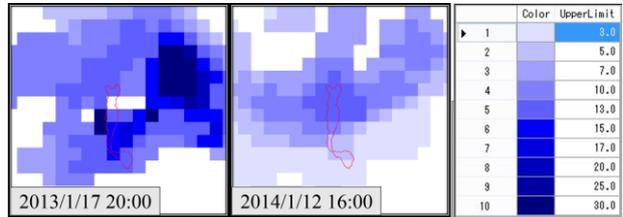


図-10 各洪水事例のピーク雨量時の雨量分布図

表-7 観測雨量との比較 (Permukaan 観測所地点)

	未補正 (mm/day)	補正 (mm/day)	観測雨量(mm/day)
2014/1/11	11.8	8.9	11.2
2014/1/14	16.0	18.0	23.0
2013/1/15	53	61	26

結果となっていることが確認できる。

以上より、IFAS 標準入力標高データよりも空間解像度の高い GIS 入力標高データを使用することで高精度な流域の抽出が可能となり、流出計算の再現性を向上させられることが示唆された。

(2) Ciliwung 川の事例

肝属川と同様に Ciliwung 川の 2013 年の洪水事例を対象に流出計算を行う。ここでは未補正衛星雨量を使用した。ケース④、⑤の条件で流域界を抽出した結果を図-6 に示す。二つの流域を比較すると肝属川の事例と同様に、ケース④はケース⑤よりも流域が大きく抽出されていることが確認できる。この違いは、IFAS 標準入力標高データ (GTOPO30) を用いた場合、低平地のような周囲との標高差が少ない場合、もしくは異なる河川が近くにあるような場合、標高の平滑化がうまくいかずに実際の流域とは異なった形状で作成されるために生じると考えられる。図-7 に示した Ciliwung 川の流域とその周辺の標高データより、下流部で流域の違いがある部分は低平地に位置していることがわかる。また、上流域で大きく流域が異なっている部分は隣接する河川の支流が近接しているため、それが合流していると見なされ、流域が大きく抽出されたと考えられる。

続いて、ケース④、⑤の流出計算結果を図-8に示す。この事例では観測データを得ることができなかったため、洪水最終報告書<sup>8)</sup>を参考にし、記述との整合性を確認する。報告によると、インドネシア技術評価応用庁(BPPT)の降雨レーダーを用いた分析では、1月17日の午前中にManggarai付近で300m<sup>3</sup>/sから400m<sup>3</sup>/s程度の流量を確認したとの記述がある。図-8に注目すると、ケース⑤の計算結果において、17日の午前中にBPPTのレーダー観測による分析結果である300m<sup>3</sup>/sから400m<sup>3</sup>/sの範囲内にあり、整合性が取れていることが確認できた。よって、2013年のケース⑤の流出計算結果は妥当な結果であると言える。

以上より、空間解像度の高いGIS入力標高データを基に作成した流域界を使用することで、国外事例においても妥当な流出計算結果を得られることがわかった。

### 3.2 雨量の補正の結果

次に衛星雨量の補正の有無による流出計算の精度を検証する。未補正衛星雨量と補正衛星雨量のデータセットを使用し、Ciliwung川流域の2013年と2014年の洪水事例における計算流量を比較する。流出計算の結果を図-9に示す。また、流域界は全てケース⑤と同じである。

#### (1) 2013年1月の事例

2013年1月の洪水事例の計算結果に関して、未補正衛星雨量による計算結果は前節で妥当性の確認ができた結果と同じものである。ここで、未補正衛星雨量を用いた計算結果と補正衛星雨量を用いた計算結果を比較すると、補正衛星雨量を用いた計算結果が過大な推定を行っていることが確認できる。

また、前掲した報告<sup>8)</sup>によるとManggaraiでは1月17日に150mmの降雨があったという記述がある。1月17日の未補正日雨量は122mm、補正日雨量は206mmであり、未補正日雨量は報告書の値に若干近く、補正日雨量は過大評価していることがわかる。

#### (2) 2014年1月の事例

2014年1月の洪水事例では流量データを入手できなかったため、2013年の事例と比較して整合性を確認する。まず、2013年、2014年の洪水事例で、最も総雨量が多かった降雨イベントの雨量ピーク時における未補正衛星雨量の雨量分布を図-10に示す。図-10より2014年は2013年よりも降雨量が少なかったと推測される。また、洪水期間での未補正衛星雨量の総雨量が2013年は205mm、2014年は177mmであった。上記(1)の結果より、両年の事例とも未補正衛星雨量を基にして2014年の方が少ないと見なす方が妥当と考えられる。

さらに2014年の事例について、Manggaraiから3km程下流に位置するJakartaのPermukaan観測所の観測日雨量<sup>9)</sup>と観測所地点の未補正衛星雨量と補正衛星雨量を比較したものを表-7に示す。これから、2014年1月11日、14日に関しては未補正衛星雨量が観測雨量と近いことが確認できる。

以上により、2013、2014年とも未補正衛星雨量を使用し、2013年はピーク流量361m<sup>3</sup>/s程度、2014年はピーク流量307m<sup>3</sup>/s程度であったと推定できた。

### 4. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 空間解像度の高いGIS入力標高データを基に作成した流域界を使用することで、再現性の高い流出計算が可能であることがわかった。
- 2) Ciliwung川の2013、2014年の洪水事例では共に未補正衛星雨量を用いた計算結果が妥当であることがわかった。
- 3) Ciliwung川の2013、2014年の洪水事例の流量を推算し、その妥当性を検証した。  
今後、国内外の多くの流域で検証、とくに雨量補正について研究を進めていきたい。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、室蘭工業大学大学院博士前期課程の奥泉宗一郎氏、国立研究開発法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センターの津田守正氏、八千代エンジニアリング(株)東北支店の和田高宏氏に助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) Y. Hirabayashi, R. Mahendran, S. Koirala, L. Konoshima, D. Yamazaki, S. Watanabe, H. Kim, and S. Kanae.: Global flood risk under climate change, *Nature Climate Change*, Vol. 3, pp.816-821, 2013.
- 2) Siswanto, G. J. Oldenborgh, G. Schrier, G. Lenderink, and B. Hurk.: Trends in High-Daily Precipitation Events in Jakarta and The Flooding of January 2014, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.96, No.12, pp.131-136, December 2015.
- 3) R. Hapsari, M. Zenurianto, and R. Sulistyowati.: The Adjustment of C-BAND Radar-Rainfall Estimates and Its Impact on Stream Flow Simulation Uncertainty :A Case Study for Jakarta Urban River Basin, Indonesia, *36th IAHR World Congress*, 2015.: <http://89.31.100.18/~iahrpapers/81024.pdf> (閲覧: 2015/12/5)
- 4) 杉浦友宣, 猪股広典, 小澤剛, 深見和彦: 衛星雨量情報を利用した洪水予測システム(IFAS)の開発, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.61-62, 2008.
- 5) 白石芳樹, 深見和彦, 猪股広典: 雨域移動情報を活用した衛星降雨データ補正方法の提案 - 吉野川流域の事例解析 -, 水工学論文集, 第53巻, pp.385-390, 2009.
- 6) Jakarta Post: <http://www.thejakartapost.com/> (閲覧: 2015/12/5)
- 7) QGIS: <http://qgis.org/ja/site/> (閲覧: 2015/12/10)
- 8) Royal Embassy of the Netherlands, Ministry of Public Works, and Indonesia (PU): Jakarta Floods January 2013, 2013.: <https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/92572119/D2.7%20Final%20report%20Jakarta%20Floods%20January%202013%2C%20April%202013%20.pdf> (閲覧: 2015/12/10)
- 9) Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika and Royal Netherlands Meteorological Institute, SACA&D: <http://sacad.database.bmkg.go.id> (閲覧: 2015/12/5)