

第 II 部門

湿潤熱帯地域の河川流域における RRI モデルの適用可能性に関する研究

京都大学工学研究科 学生員 ○山本 浩大
 京都大学防災研究所 正会員 佐山 敬洋
 インドネシア科学院 非会員 Apip
 京都大学防災研究所 フェロー 寶 馨

1 はじめに

熱帯地域では、深刻な森林伐採と土地被覆変化により、水循環の変化とそれに伴う洪水災害の増加が懸念されている。インドネシアスマトラ島に位置するバタンハリ川流域に代表される湿潤熱帯流域では、オイルプランテーションの急速な拡大と共に約 40%以上の森林伐採が起こり、河川流量の変化とそれに伴う洪水被害が懸念されている¹⁾。森林伐採とオイルパームプランテーションの急速な拡大は、有機物を含んだ土壌の分解の促進、蒸発散量の減少、浸透量の減少や基底流出量の減少を引き起こし、河川流出量の増加や洪水頻度の増加を引き起こす。

一方で、熱帯地域は、プランテーションから経済的な利益を得るモノカルチャー経済であり、洪水頻度の増加はプランテーション農場に氾濫被害を与え、大きな経済的な損失を引き起こす可能性がある。土地利用の変化と河川流量や洪水頻度の関係性を明らかにするためには、上記の水文過程の変化と河川流出量を物理的に解くことで解決できる。そのため、土地被覆が変化する長期間の降雨流出過程と氾濫過程を解析できる降雨流出モデルを開発する必要がある。

降雨流出氾濫モデル²⁾ (以下、RRI モデル) は、2次元で降雨流出過程と氾濫過程を一体的に解く分布型モデルである。これまで、大規模洪水を対象にアジアの流域に適用され、流量、水深と浸水深分布の点から多角的に検証されてきた。ただし、急速に土地被覆変化がおこる熱帯森林域における長期連続の解析の研究は十分になされていない。上記モデルを開発するにあたって、RRI モデルの熱帯湿潤流域への適用可能性を検証する必要がある。本研究は、熱帯湿潤流域において、長期的な降雨流出過程と氾濫過程を RRI モデルの適用可能性を検証する。

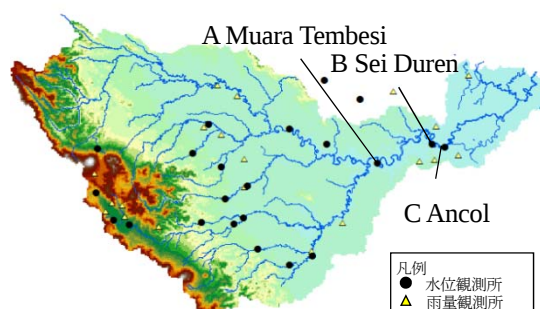


図 1 インドネシアスマトラ島バタンハリ川流域

2 方法

2.1 研究対象地

研究対象地は、インドネシアスマトラ島に位置し流域面積 42,960 km² のバタンハリ川流域である。流域下流部は泥炭湿地となっており、毎年氾濫を伴った洪水が起きる。バタンハリ川流域が位置する熱帯湿潤地域は、季節に関係なく 60mm 以上の月総雨量がある熱帯雨林気候に属している。流域の広範囲に、深層まで風化が進んだ土層が見られることが特徴的である。そのため、降雨が浸透し、多量に貯留されていることが想定される。

2.2 計算条件

(1) 入力降雨

入力降雨は GSMaP の再解析データ (version 6) を用いた。2003 年 12 月 1 ヶ月総雨量を比較すると、湿地を含む低地を除き、両者の空間分布は類似していた。

(2) 入力蒸発散量

気象強制力データを用い、Penman-Monthieth 法により、可能蒸発量を計算した。気象データには WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim data (以下、WFDEI)を用いた。また、葉面積指数、アルビドや空気物理学の祖度は、Meteo-France より提供されている Ecoclimap を用いた。2011 年から 2013 年の平均年可能蒸発散量は、流域平均で 1524 mm であった。これは蔵治らの研究³⁾で示された 1450~1750 mm の範囲内であった。

(3) その他入力条件とパラメータ

地形情報は、HydroSHEDSに含まれる標高・流下方向・集水面積データ（空間分解能は 30 sec）を用いた。河道の幅と深さは、集水面積の関数を用い算定した。その係数は、11 地点の河川の深さと 8 地点の幅の観測値をもとに、以下のように推定した（ $C_w=1.22$, $S_w=0.566$, $C_D=1.5$, $S_D=0.113$ ）。ただし、Ancol 地点のみ現実の断面を用いた。計算で用いるパラメータは、既往の研究のものを用いた。流域の斜面は、山腹斜面と平野部に分けた。前者は、 $n=0.3\text{ m}^{-1/3}\text{s}$, $d=0.33\text{ m}$, $k_a=0.2\text{ m/s}$, $d_m=0.068$, $\beta=4$ と $n_r=0.03\text{ m}^{-1/3}\text{s}$ を流域一様に用いた。後者は、Green-Ampt モデルに適用可能な“sandy clay loam”のパラメータを用いた。特に、平野部は、FAO の土壌分類に従い、“clay”と“sandy clay loam”のパラメータを与えた。流域下端の分水路は、分水地点の流量の 20%と 50%を分水路に流下するよう配分した。下流端水位が 0m になるように境界条件を設定した。

本研究では、以上の計算条件を既定の設定(Case 1.1)と呼ぶ。さらに、既定の設定に蒸発散過程を追加したもの(Case 1.2)と既定の設定に流域一様に 5m の土層を追加したもの(Case 1.3)を加え、3つの計算条件で適用可能性を検証した。

3 結果と考察

バタンハリ本川の Muara Tembesi 観測所、Sei Duren 観測所に着目して 2011 年～2013 年の流量の再現性を評価する。評価期間は、観測誤差や欠損値を除いた 2012 年 2 月 1 日～2013 年 12 月 31 日とした。初めに、これまでの RRI モデルの適用研究と同様、GSMaP 再解析雨量と既存研究のパラメータを用い河川流量の再現性を評価した(表 1: Case 1.1)。推定された河川流量は過大評価であった。次に、推定した蒸発散量を追加して、同じ期間の日流量を推定した。Case1.1 と比較すると、蒸発散過程を考慮することにより、モデルの再現性が改善されたことがわかる。Nash 係数は、0.77 を示しており、計算値と観測値はよい対応を示した。Muara Tembesi では、Nash 係数は 0.06 であった。月平均流量に対しては、どちらの地点もよい対応を示している。Case 1.3 は、土層を流域一様に 5 倍深くしたため、流出の損失が増え、計算流量は過小評価の傾向にあった。以上より、日流量と月平均流量のともに Case 1.2 が一番再現性が高いことがわかった。また、Case 1.3 は Case1.1 と比べると再現性がよい。これは、鉛直浸透による土壌中の流出の損失を考慮したためと考えられる。しかし、土中の流れは、基岩への損失など

表 1 月平均流量を対象にした Nash 指標 (NSE)

NSE	Sei Duren	Muara Tembesi
Case 1.1	0.02	-0.91
Case 1.2	0.87	0.61
Case 1.3	0.72	0.36

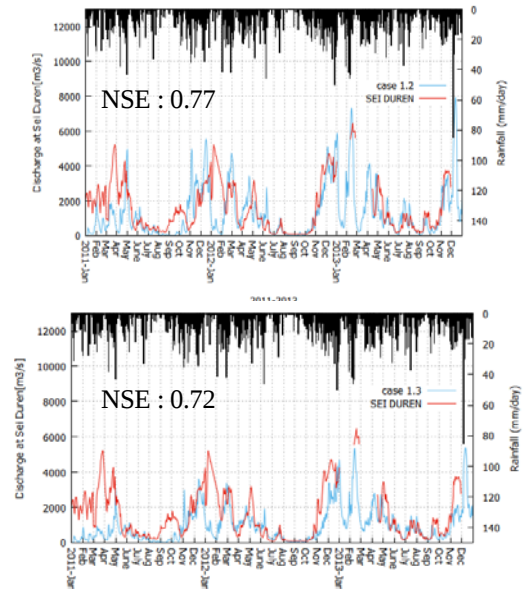


図 2 SeiDuren 地点での計算流量（青線）と観測流量（赤線）の比較（上は Case1.2、下は Case1.3 を示す）

多様な流出プロセスが考えられるため、既存の RRI のモデル構造では十分に表現できなかったと考えられる。

4 結論

衛星観測雨量と既定のパラメータに加えて、可能蒸発散量や深い土層を考慮し、流出に対する損失を考慮することにより、RRI モデルがバタンハリ川流域に適用可能であることがわかった。

参考文献

- 1) Jenifer Merten, Alexander Röhl, Suriya Tarigan, Drick Hölscher, Jonas Hein: Expanding Oil Palm Cultivation in Indonesia: Changing Local Water Cycles Raises Risks of Drought and Floods, German Development Institute, briefing paper, 2017.
- 2) Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka, Kazuhiko Fukami Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.
- 3) Koichiro Kuraji: Water balance studies on moist tropical forested catchments, 日林誌, 78(1), 1996.