

1. 研究の背景と概要

2011年7月から断続的に続いた大雨により、タイ国・Chao Phraya川では大規模な洪水が発生した。2011年の大洪水の後から図られているマスタープランの見直しに向けては、流域の水文特性を理解することが重要である。2011年洪水の後、JICA(The Japan International Cooperation Agency)は、治水対策プロジェクトを立ち上げた。著者らは、IMPAC-T(the Integrated study on hydro-Meteorological Prediction and Adaption to Climate change in Thailand)プロジェクトを通して、JICAの治水対策プロジェクトに参加している。本研究は、治水計画に特に重要となる、Chao Phraya川流域の流出特性について議論する。中流域 C.2 地点の河川流量に着目し、過去の流量・雨量観測解析や、水文陸面過程モデルを用いた数値計算を通じて、C.2 地点で大出水が起こる条件について明らかにする。

2. 解析手法

雨量データは、タイ王立灌漑局(RID)とタイ気象庁(TMD)により観測されているデータを、IMPAC-Tプロジェクト及び、GAME-T2 データセンターから取得した。流量観測データは、RIDによって観測されている C.2 地点流量を IMPAC-T プロジェクトを通じて取得した。C.2 地点で観測される流量は、Bhumibol, Sirikit ダムの影響を大きく受けている。ダムの影響を除いた流量を自然流量と定義し、以下の式で計算した。

$$ND_{C2} = OD_{C2} + [Inf + Pump - Ouf]_{dam} \quad (1)$$

ここで、ND: 自然流量, OD: 観測流量, Inf: ダム流入量, Ouf: ダム放流量, Pump: ダム揚水量である。ダムはBhumibol ダム及び Sirikit ダムを考慮し、それらのダムの流入・放流・揚水量データは、タイ電力公社(Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT)より取得した。

数値計算は、水文陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere model including Urban Canopy)により解析する。モデルの空間解像度は5分とした。雨量の以外の気象強制力は、Hirabayashi *et al.* (2008)及び JRA25 再解析データにより作成した。雨量・流量は32年間(1980-2011年)のデータを収集し、解析は27年間(1980-2006年)行った。

3. 結果と考察

Figure 1 は32年間(1980-2011年)の Nakhon Sawan 流域年降水量を、多い順に並べたものとその年の自然流量である。2011年は32年間で最も年降水量が多く、平年の40%を超える降水量により、平年+125% (+290億 m³) の自然流量がもたらされた。これはBhumibolダム(135億 m³)、Sirikitダム(95億 m³)の合計貯水容量を大きく上回っており、2011年の大出水は、両ダムの運用が適切であっても洪水を防ぐことは難しかったと考えられる。1980, 1995, 2006年は、平均を約10%上回る降水量が、平年を50-75%上回る自然流量をもたらした。Chao Phraya川流域の流出率は20%程度であり、その特性上、少しの降水量の増加で流出量が非常に多くなる可能性がある。

同流域では、2011, 2006, 1980, 1995年に見られるように、平年より降水量が多く大出水となる自然洪水年(Natural Flood: NF年)と、1999, 2008, 2001, 2010, 1988年に見られるよう降水量が多いにもかかわらず大出水とはならない非自然洪水年(Non Natural Flood: NoNF年)がある。NF年は6, 7, 8月の降水量が平年・NoNF年より多く、9月に地表面貯水量が飽和に近い状態になることが分かった(Figure 3a, 3d)。飽和に近い状態で多くの降雨があると、基底流出量と共に表面流出量も増加する。これは、飽和に近い土壌には降雨が浸透しないためである。そのため、同流域での大出水を予測するには、もっとも雨の多い9, 10月前の降雨にも注目する必要がある。

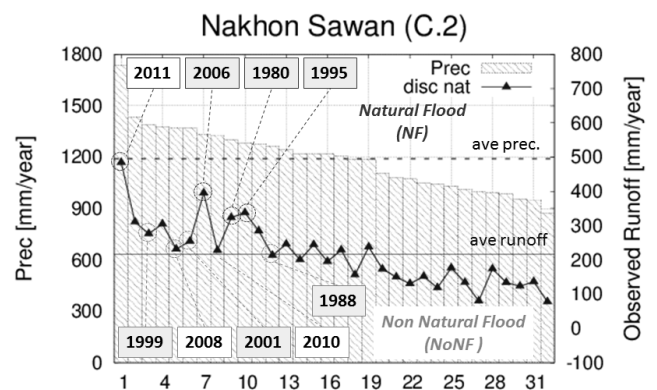


Figure 1. 32年間(1980-2011年)の Nakhon Sawan 流域年降水量を、多い順に並べたもの(棒グラフ)とその年の自然流量(折線)。年降水量平均・年自然流量平均も併記している。

4. 雨季中盤の雨が流出に与える影響

Figure 2. は、C.2 集水域での 8, 9, 10 月積算流出量と、6, 7, 8 月積算降水量(Figure2a-1), 8, 9, 10 月積算降水量(Figure2a-2), 6, 7, 8, 9, 10 月積算降水量(Figure2a-3)の比較を、線形近似直線式と決定係数と共に示している。

Figure 2a-1, 2a-2 を比べると、8, 9, 10 月の観測流量との決定係数は、6, 7, 8 月雨量が 0.6481 であるのに対し、8, 9, 10 月雨量は 0.5276 である。この点は重要であり、8, 9, 10 月の流量は同期間の雨量に比べて、6, 7, 8 月の雨量の方に影響されることを意味している。最も降雨が多くなる 9 月前の 6, 7, 8 月雨量により土壌が飽和に近い状態になっていることが大出水の必要条件であると言える。既に議論したように、Chao Phraya 川流域では、土壌が飽和に近い時に降雨があった場合に大出水が起こると考えられる。このことは、5, 6, 7, 8, 9, 10 月雨量と 8, 9, 10 月自然流量間の決定係数が 0.7260 と非常に高くなっていることから裏付ける。Figure 3 は C.2 集水域での、27 年間平均(1980-2006 年), NF 年平均 (1980, 1995, 2006 年),

NoNF 年平均 (1988, 1999, 2001 年) の観測・解析水量を比較している。Figure 3d, 3e, 3f から分かるように、NF 年は地表面貯水量(Total water storage: TWS)が飽和に近くなり、ピークである 9 月には基底流出と共に、表面流出量についても平年・NoNF 年の 2 倍であることが分かる。

5. まとめ

本研究では、9, 10 月に大出水が起こるために、8 月の時点で土壌が飽和に近づいていることが必要条件であることを明らかにした。本研究で用いた陸面過程モデルをリアルタイムで計算させることにより、TWS の情報を時々刻々と診断することが可能である。7, 8 月の時点で TWS が平年よりも高くなった場合は、大出水が起こる可能性があるため、事前放流の検討を行う、といった活用方法が考えられる。一方で、TWS が平年通りである場合は、大出水になる可能性が非常に低いといえる。

Keyword : 流出, 洪水, Chao Phraya 川, 陸面過程解析

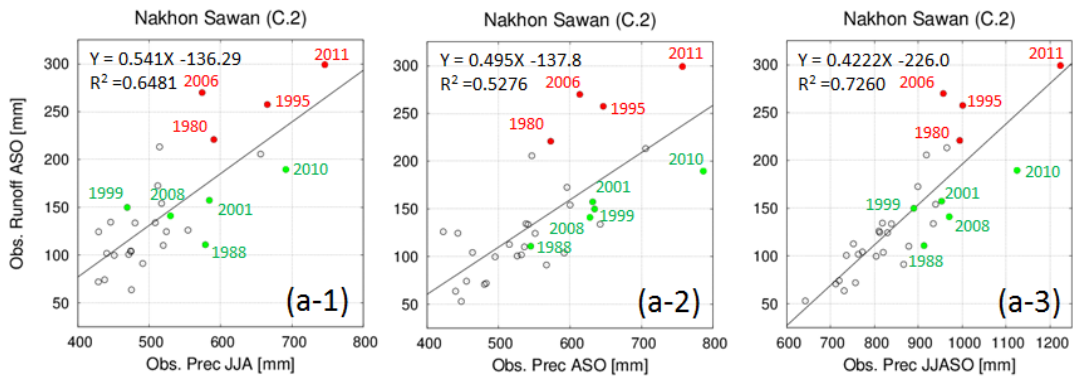


Figure 2. C.2 集水域での 8, 9, 10 月積算流出量と、6, 7, 8 月積算降水量(a-1), 8, 9, 10 月積算降水量(a-2), 6, 7, 8, 9, 10 月積算降水量(a-3)の比較。それぞれ、線形近似直線式と決定係数についても示している。

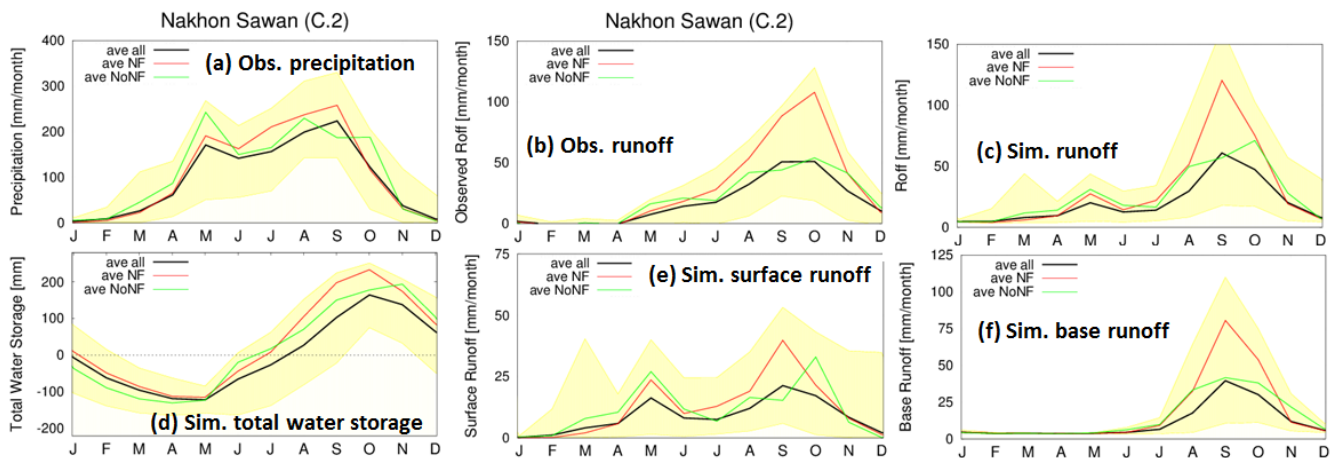


Figure 3. C.2 集水域での、27 年間平均(1980 年から 2006 年), 自然洪水年平均 (1980, 1995, 2006 年), 非自然洪水年平均 (1988, 1999, 2001 年) の観測・解析水量比較。ラベルは全期間の最大・最小値を示している。(a)は観測降水量, (b)は観測自然流量, (c)は解析流出量, (d)は解析地表面貯水量, (e)は解析表面流出量, (f)は解析基底流出量をそれぞれ示す。