

〈研究発表〉

異常気象が河川流域の物質動態に与える影響評価

林 宏樹¹⁾, 佐藤 圭輔²⁾ 佐藤 浩一¹⁾ 矢澤 大志²⁾

¹⁾ 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-0021 滋賀県草津市野路東 1-1-1, E-mail: rv006071@ed.ritsumei.ac.jp)

²⁾ 立命館大学 理工学部 環境システム工学科 (〒525-0021 滋賀県草津市野路東 1-1-1, E-mail: k-sato@fc.ritsumei.ac.jp)

概要

近年深刻化している集中豪雨などの異常気象が、今後河川流域に大きな影響を与えることが予測される。本研究では長期観測データから 100 年確率以上の降雨シナリオを作成し、このシナリオが河川流量や SS 負荷量に与える影響を、流域統合モデルを用いて評価した。その結果、野洲川流域周辺の彦根地点で近年の豪雨頻度が多くなっており、異常気象が高水や洪水の発生可能性に大きく影響することや SS の年間負荷量を 1.3-1.5 倍程度に増加させることが明らかとなった。

キーワード：確率降雨，琵琶湖流入河川(野洲川)，流域モデル，水・物質フラックス，シナリオ評価

1. はじめに

下水道の普及や面源汚染対策が進んでいない地域において、下流の水域や湖沼などの水質悪化が益々深刻な問題となっている¹⁾。また、近年深刻化している異常気象²⁾によって、①集中豪雨に伴う洪水や出水時の汚濁負荷の増加が起こること、一方では②長期渇水による瀬切れや給水制限などによる生活環境への影響が予想されることなど、河川流域環境への影響が避けられない事態となってきている。今後、湖沼あるいはその流域の持つ多様な価値を持続可能な形で利用・保全していくためには、今後の気候変化を加味した計画的な流域管理が必要となっている。

そこで本研究では、まず過去 100 年以上の異常気象の傾向を分析し、再現確率を考慮した異常気象(降雨)シナリオを設定した。一方で、流域モデルを設計・構築し、流域内の水・物質フラックスの計算環境を整え、設定された異常気象が河川流域環境に与える影響を、水量および物質負荷の側面から解析した。対象地域は Fig.1 に示す琵琶湖周辺とし、特に水・物質フラックスのモデル設計は野洲川流域(397km²、琵琶湖流域で最大)を対象とした。

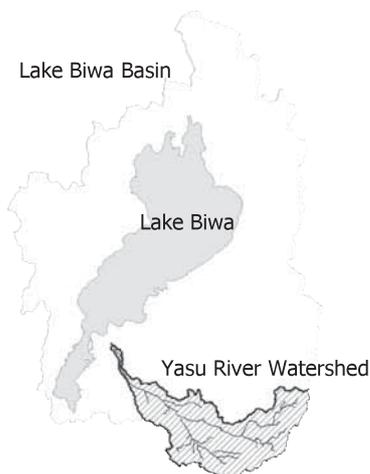


Fig.1: Location of a target watershed.

2. 流域モデル

2.1 モデル概要

本研究ではアメリカ合衆国環境保護局(EPA)が開発した BASINS Ver.4-HSPF Ver.12³⁾を流域統合モデルとして利用した。本モデルは流域統合モデルとしては世界で最初に開発され、現在もバージョンアップを進めており、広く活用されている⁴⁾。

このモデルでは時系列の気象データや土地利用に関するパラメータに基づいて、流域における水文と様々な物質動態を再現することが可能である。シミュレーション可能な項目は、水文現象(積雪・融雪、蒸発散、流出)の他に、土砂生産や流出、有機物や栄養塩類の動態、DO やプランクトンの変化などが用意されている。本モデルは各土地を①浸透性の陸域 PLS (Pervious Land Segment)、②不浸透性の陸域 ILS (Impervious Land Segment)および完全混合状態を仮定した③貯水池・水路 RCH (Reach and Reservoir)のセグメントに大別し、それらを接続することによって流域の水・物質フローが記述されている(Fig.2)。この3つのセグメントには、それぞれで起こる固有の現象がモデル化され、必要な入力情報やパラメータを設定することで水量や水質が計算される。

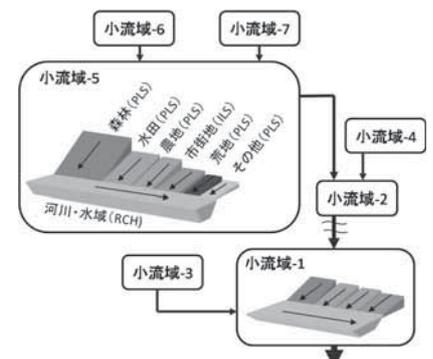


Fig.2: Separation to sub-watersheds and segments, and its connection.

2.2 野洲川流域の分割と土地利用分類

野洲川流域を対象に BASINS の自動分割ツールを利用して小流域に区分した。基礎データとして数値地図・標高(50mメッシュ)を入力し、流出点(河口)と河川を定義する最小集水域面積(5km²)を設定することによって、43個の小流域に分割(Fig.3)した。

一方、陸面のセグメント分類は、既存の土地利用データ(Fig.3)に基づいて行った。具体的には不浸透性の陸域(ILS)に市街地と幹線道路を、浸透性の陸域(PLS)に森林、水田、農地、荒地およびその他を割り当てた。また、PLSにはFig.4に示すように鉛直方向に3つの層(上層、下層および地下水層)を設定し、ILSも含めて土地利用ごとに浸透、貯留、流出および蒸発等に関する個別パラメータを設定した。

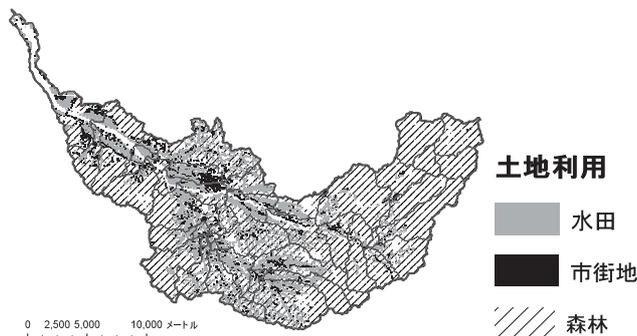


Fig.3: Separation to sub-watersheds and land use distribution in Yasu river watershed.

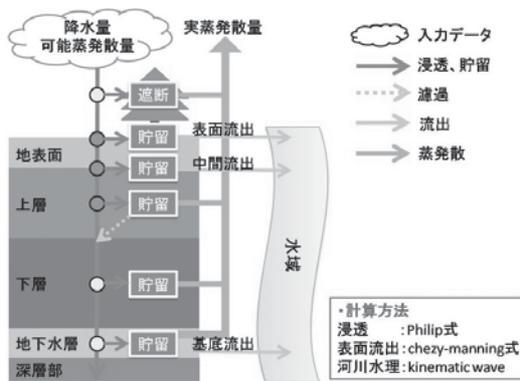


Fig.4: Hydrological calculation methods in vertical layer (PLS).

2.3 気象(降水量)データの入力と計算の実行

降水量には国土交通省の地点観測データ⁵⁾を用いた。野洲川流域周辺には11ヶ所の観測地点が存在するため、ティーセン分割を利用することで流域を占める面積(影響)を考慮し、面積加重平均を行った時間降水量を流域平均降水量として利用した。一方、可能蒸発散量は、彦根地方気象台の観測データに基づいて計算された値(ペンマン式を利用)を入力した。

以上の通り設定された流域条件、パラメータ、入力データに基づいて1998年もしくは同年の1イベントを対象に1時間単位の水文・SS流出計算を行った。

3. 異常気象分析

3.1 降水特性の長期的変化

Fig.5に彦根地方気象台観測データに基づく過去117年間(1897-2010年)の豪雨発生頻度を降水量別に示した。なお豪雨の定義は一般に50mm/day以上とされているため、本分析でもこれに従っている。約40年ごとの豪雨発生頻度(平均値)で見れば、最近の40年間で最も多く、約80年前と比べて1.2倍程度増加している。100mm/dayを超えるような希な降雨については、本地点では有意な増加傾向が見られなかったが、これまでの観測ではサンプル数が不十分の状況である。

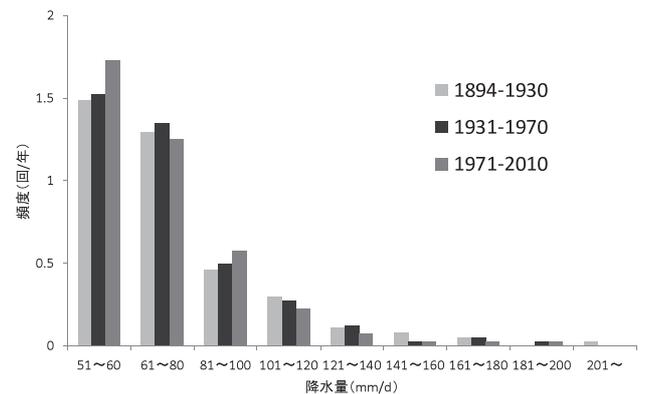


Fig.5: Variable trends of rainfall frequency in the past 117 years.

3.2 異常気象シナリオ

異常気象(降雨量)のシナリオ設定には確率降雨を用いた。確率降雨とは、過去の降雨量データをもとに、例えば100年(再現期間)に1回発生する降雨量がどの程度かを統計的に推定した値である⁶⁾。確率降雨の精度は観測期間やデータ数に依存するため、野洲川流域周辺では、最も長い観測データ(114年分)が存在する彦根地方気象台での日降雨量を基礎データとした。このデータから各年における日最大降雨量を求め、確率降雨分布に良く用いられる数種類の分布型を適用し、その中から最も適合度の高い(Fig.6)ゲンベル分布を採用して確率降雨(日降雨量)を推定した。なお、降水量には降雨量に加えて降雪量などを含まないが、ここでは同義的に扱うこととする。

上記で推定された確率降雨量を利用し、以下に述べる手法で野洲川流域の時間降雨シナリオを設定した。まず、野洲川流域の降雨イベントのうち、イベント前後に降雨が少なくかつ中規模以上の出水を発生させた1998年10月16-17日の降雨を選定した。一方、Fig.7

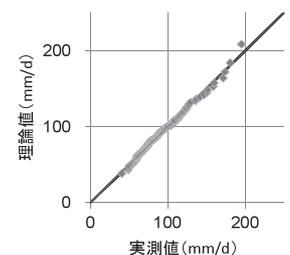
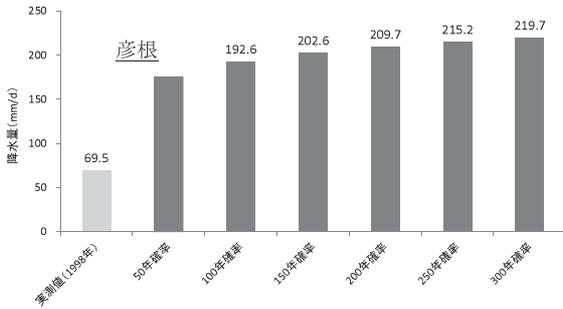


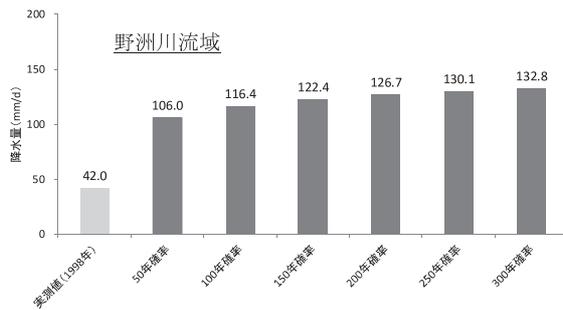
Fig.6: Estimate accuracy of maximum daily precipitation by Gumbel distribution.

に示すように上記日程で観測された彦根の日降雨量と再現期間別の確率降雨量を算定した。次に、彦根で算定された再現期間別の確率降雨量増加率を野洲川流域におけるイベントでも同様の増加率として、確率的な日降雨量を算定した(Fig.8)。さらに時間降雨量シナリオを設定するため、イベントの時間降雨量分布(実績値)に対して日降雨量の合計値が一致するように一定率を乗じた。その結果、100年確率の時間降水量はFig.9に示す降雨量シナリオとして定義可能となった。



※実績値(1998年)は10/16 12:00-10/17 11:00の実績値

Fig.7: Daily probability precipitation for each return period in Hikone local meteorological observatory point.



※実績値(1998年)は10/16 12:00-10/17 11:00の実績値

Fig.8: Daily probability precipitation for each return period in Yasu river watershed.

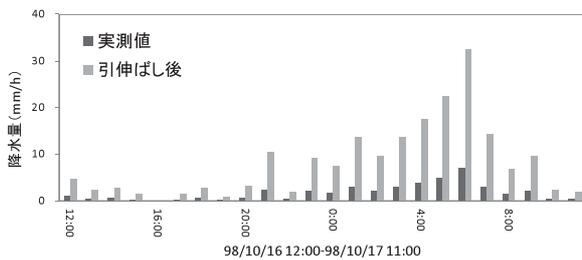


Fig.9: Estimation of the hourly probability precipitation for 100 years return period in Yasu river watershed.

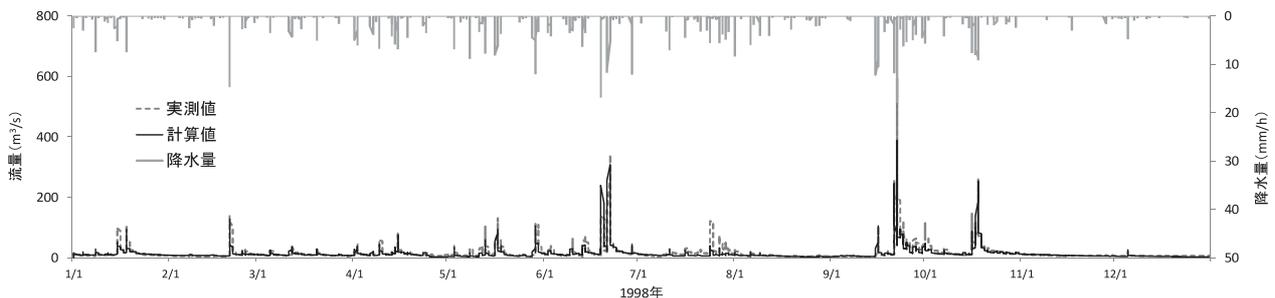


Fig.10: Comparison of hydrographs between estimated flow and observed flow.

4. 結果

4.1 流域モデルによる流量とSS負荷量の推定

Fig.10に流域モデルによる時間流量の計算結果と実測値の経時変化を示した。流量の再現性は夏季から秋季にかけて計算値が過小評価となったが、Fig.11に示すように全体としては概ね良好な結果となった。この過小評価の原因としては、可能蒸発散量や貯留に関わるパラメータ設定の影響が考えられる。SSの再現性については、流量の結果が直接的に影響するため十分な精度が得られなかったが、流量との指数関数的な関係やオーダーレベルの定量性については一定の再現性を得る結果となった。これらの結果より、琵琶湖に流出する年間流量は約3.8億m³/year、年間SS負荷量は約21万ton/yearと推定された。

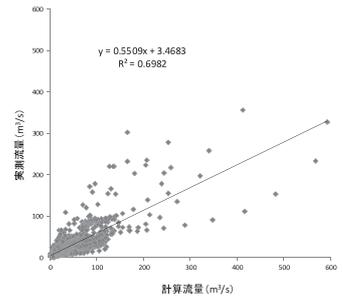


Fig.11: Reproducibility of hourly flow between estimated value and observed value.

4.2 確率降雨シナリオの影響評価

Fig.12に確率降雨シナリオによる流量の計算結果を再現期間別(100年、200年および300年)に示した。実測値と比較すると降雨量では2.5-3.2倍に増加、平均流量では3.7-4.5倍に増加、最大流量では6.7-8.4倍に増加する結果となった。300年確率の降雨量は100年確率のそれに比べて、最大流量で1.2倍程度増加させる可能性があることを本計算より明らかとした。

100年確率の降雨量シナリオに着目し、流量の時間変化に与える影響を分析した結果(Fig.13)、降雨量の増加はヒドログラフの尖度を(より集中的な出水可能性)を高め、高水発生の可能性に大きく寄与すること、またイベント後の流量減衰に時間がかかることで、降雨イベントが連続する際の洪水リスク上昇が懸念されることなどが明らかにされた。これらのことは、確率的にあり得る降雨イベントが高水や洪水の発生可能性により大きな影響を与えることを意味しており、リスク回避に向けてさらなる調査が必要と考えられる。

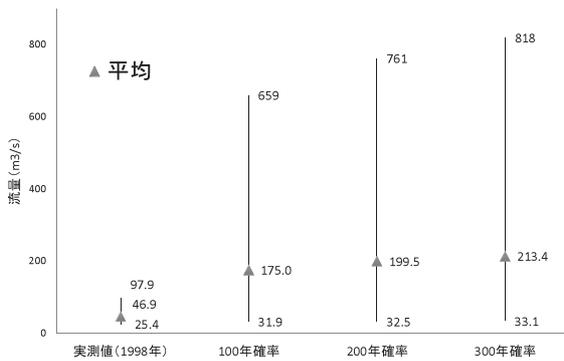


Fig.12: Variation ranges of the precipitation in each scenario.

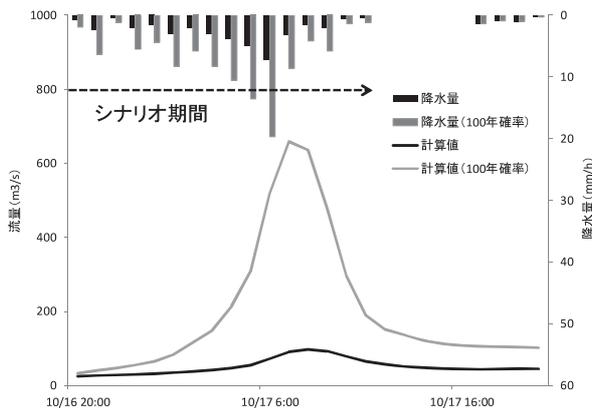


Fig.13: Comparison of hydrograph between real flow and flow in 100 years probability precipitation scenario.

次に確率降雨シナリオが SS 負荷量の増加に与えた影響について述べる。シナリオ設定による SS 負荷量の増加は、流量増加の累乗に比例して大きく増加する結果となった。これは流量のみならず SS そのものの増加が大きく寄与している。斜面崩壊などに伴う土砂生産の増加が、本モデルにおいてもある程度再現されており、このことが SS 負荷量増加の主因となっている。Fig.14 にシナリオ別に計算された降雨イベント中の SS 負荷量の合計値を示した。本図の棒グラフ上に付記した数値は、年間負荷量に占めるイベント負荷量の割合を示している。この結果から、たった 1 回の確率降雨イベントであっても、その際の負荷量が年間負荷量の 2 割を超えるほど大きな影響を占めること、また、その影響は年間負荷量を 1.3~1.5 倍程度に押し上

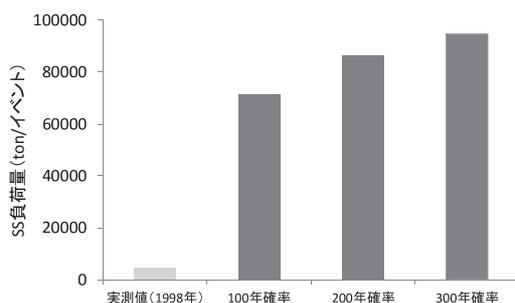


Fig.14: SS loads estimated by the watershed model in three probability precipitation scenarios.

げることが分かった。この結果は、琵琶湖への濁水流入を促進するだけでなく、河川流路性能や河川生息場環境の変化にも大きく影響するため、今後の波及効果を検証していくことが重要である。

5. おわりに

本研究では、過去 50 年~300 年の異常気象の傾向を分析し、再現確率を考慮した降雨シナリオを設定することによって、野洲川流域内の水・物質フラックスにどのような影響を及ぼすかについてモデリング手法を用いて解析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 野洲川流域周辺の彦根地点で近年(過去 40 年間の)豪雨頻度が多くなっている。
- (2) グンベル分布を仮定した確率降雨の推定によって、100 年確率の日降雨量が約 200mm/day (彦根地点)となること。
- (3) 流域モデルを設計することで野洲川での時間流量と SS 負荷量が一定精度で予測可能となること。
- (4) 1 つの降雨イベントを対象に 100, 200 および 300 年確率の降雨シナリオを設定し、これに基づく流出計算の結果を受けて、異常気象が高水や洪水の発生可能性に大きく影響すること。
- (5) 100 年確率を超える降雨シナリオを 1 イベントのみ設定した場合であっても、そのイベントあたりの SS 負荷量は年間負荷量の 2 割を超えるほど大きな影響を占め、年間負荷量を 1.3 倍以上押し上げること。

今後は、現地調査を含めて結果の検証を進めるとともに、琵琶湖流域全体の統合流域モデルの構築に取り組むことで、流域環境の将来予測や管理施策の設計・評価に本手法を役立てていきたい。

参考文献

- 1) 大久保卓也, 東善広, 佐藤祐一: 面源負荷とその削減対策に関する政策課題研究, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第 6 号, pp.46-57, 2009.
- 2) 気象庁: 気候変動監視レポート 2010, pp.16-35, 2011.
- 3) 米国 EPA: Version 12.2 of HSPF Users' Manual, <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/index.cfm>.
- 4) 山下隆男, 嵯峨拓朗: 流域水文モデル HSPF による沿岸海域への物質輸送シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.1101-1105, 2005.
- 5) 国土交通省 水文・水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>.
- 6) 気象庁, http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/exp_qt.html

*本研究は、(財)河川環境管理財団の 2011 年度河川整備基金助成事業によって実施しました。ここに謝意を表します。