

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○杉本 悠
 京都大学防災研究所 正会員 堀 智晴
 京都大学防災研究所 正会員 野原 大督

1. はじめに

近年、2011年の台風12号による紀伊半島の豪雨災害をはじめとして、全国各地で豪雨災害が多発している。こうした災害に備えて、施設整備などのハード面での対策を進める一方、設計外力を超える洪水の発生がありえること等から、氾濫が発生してもできるだけ被害を軽減できるようなシステム作りが求められるようになってきている。そこで、地先の洪水リスクを評価することの重要性が高まっており、それらの情報を開示・共有するとともに、治水施設群のデザインや水害につよいまちづくりに生かそうという動きが起こっているが、この評価精度は豪雨の時空間分布に大きく依存してしまうと考えられる。

そこで、本研究では豪雨の時空間分布が地先の洪水リスク評価に与える影響を分析することを目的として、時空間の確率構造を保存した豪雨ジェネレータの検討を行う。

2. 豪雨のシミュレーションモデル

豪雨現象は、時間的にも空間的にもきわめて複雑な構造を呈しており、豪雨ジェネレータについては水文学の分野で鋭意研究が進められている。本研究では、豪雨の時空間の確率構造保存という点に着目してシミュレーションを行うので、その点で最もシステムティックな取り扱いができると考えられる多地点同時シミュレーションを用いて、多数の分布をもった豪雨を発生させることを考える。

多地点同時シミュレーションは、対象流域内に存在するすべての部分流域間の相関を同時に組み込むことのできるモデルであり、基本式は次のように表される¹⁾。

$$R_{t+1} = A_t R_t + B_{t+1} W_{t+1} \quad (1)$$

ここに R_t 、 R_{t+1} はそれぞれ時刻 t 、時刻 $t+1$ の時間降雨量を対数変換した偏差ベクトル、 W_{t+1} は外乱ベクトル、 A_t は時刻 t から $t+1$ への回帰係数行列、 B_{t+1} は時刻

$t+1$ における残差係数行列である。(1)式による降雨シミュレーションは、標準正規乱数によって外乱項 W を発生させることにより、各部分流域での時間雨量を同時に得ようとするものである。係数行列 A および B は(1)式の両辺に R_t^T 、 R_{t+1}^T をそれぞれ乗じることによって期待値をとり、次式で表される。

$$A_{t+1} = S_{t+1} \cdot S_{tt}^{-1} \quad (2)$$

$$B_{t+1} B_{t+1}^T = S_{t+1} S_{t+1}^T - S_{t+1} \cdot S_{tt}^{-1} \cdot S_{tt+1} \quad (3)$$

ここに、 S_{t+1} は時刻 t における雨量と時刻 $t+1$ の雨量との共分散行列であり、 S_{tt} は時刻 t における同時刻の各部分流域降雨量に関する分散行列である。

3. 適用と考察

円山川流域を対象に多地点同時シミュレーションを適用し、このモデルの持つ特性や可能性を、地先の洪水リスク評価といった観点から考察する。円山川の幹川流路延長は68km、流域面積は1300km²である。流域内の降雨量データは国土交通省の水文水質データベース²⁾を利用する。対象期間を2001年1月～2010年12月の10年間とすると、円山川流域内には対象期間の時間雨量データが利用可能な国土交通省の雨量観測所が10個あり、それぞれについての時間雨量データを、10年分入手した。地理データは国土地理院が提供しているものを利用し、ティーセン法により全流域を各観測所が占める部分流域に分割した(図1)。



図1 円山川流域のティーセン分割図

i) 10 個の部分流域全てを対象とした場合

各年の流域平均雨量が最大となる 24 時間の時間雨量データを用いて、パラメータを同定し、10 個の部分流域全てについての時空間相関構造を保存した多地点同時シミュレーションを行うことを試みた。10×10 のパラメータ行列 A 、 B が実数値で求められなかったり、非常に不安定な値となった。これは、部分流域間の共分散を求める時点で、その値の大小にばらつきがみられたことの影響や、時間降雨量を対数変換する際に、降雨量 0 を 0.01 と置き換えて計算したことが原因ではないかと推測される。対象とする地点が多くなるほどこのような不安定性は増すと考えられる。

ii) 3 部分流域についての場合

上流側の 3 部分流域だけを対象としたところ、パラメータ行列 A 、 B は実数値で求められた。不安定な値をとることもあったが、具体的にそれらがシミュレーションに与える影響を確認するためそのまま代入し、正規乱数を発生させシミュレーションを 100 回行った。

次に、発生させた豪雨の数値的な妥当性について検証するために、発生させた豪雨 100 個の 24 時間雨量についてのヒストグラムを図 2 に示す。

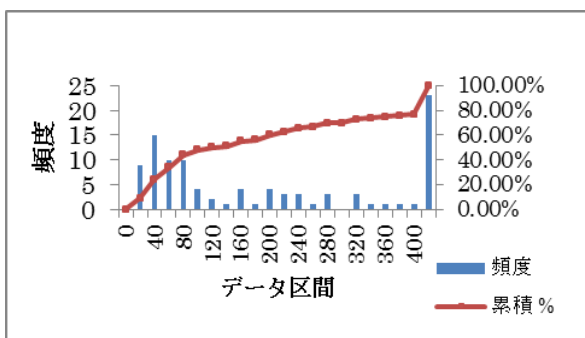


図 2 発生させた豪雨の 24 時間雨量のヒストグラム

このシミュレーションを、初期値を変えて 10 ケース行った。初期降雨としては、2001～2010 年について各年最大 24 時間雨量を記録したときの 1 時刻目の雨量 10 個を用意した。その結果、24 時間雨量の現実的な値と考えられる 0～400mm は全体の 58～79% となり、この区間だけを見ると、現実に近い頻度分布となっていた。非現実的な値である

400mm 以上は全体の 21～42% となっており、この区間には 1000mm 以上の異常値も含まれていた。ここに、時間雨量 400mm は現実的な値の上限の目安として、1000mm 以上は、シミュレーションの過程で発生した異常値であるものとして設定した。

このシミュレーションにおいて、24 時間総雨量に関して現実的な値を得られたのは、全体の 58～79%と低く、また対象地点が増えると、シミュレーションが行えなくなる可能性があることから、豪雨ジェネレータとしてこのモデルを使用することは難しいと考える。

今回、現実的でない結果を示した 21～42%の値についてのほとんどは、乱数の異常値や、パラメータ係数行列 A 、 B の数値的な不安定性に起因するものであると考えられることから、このモデルは、パラメータ同定に対する改善が必要であると言える。

4. 結論

本研究では、地先の浸水リスク評価精度分析に向け、これまでに提案されている豪雨ジェネレータの比較検討を行うとともに、その中で複数の観測地点間の時間的、空間的要素を組み入れることのできる多地点同時シミュレーションを用いて、時空間の確率分布を保存した豪雨をランダム発生させることを考えた。

今後の課題としては、今回の研究で見受けられた多地点同時シミュレーションのパラメータの数値的な不安定性の改善方法、あるいはより精度の高いモデルについて検討することと、レーダー雨量計による観測データなどの実績降雨ケースについて、降雨の空間解像度を変化させてとらえた場合、地先の浸水状況に与える影響について検討することの 2つが挙げられる。

参考文献

- [1] 堀 智晴(1986)：広域的な治水システムの段階的計画決定プロセスに関する研究
- [2] 国土交通省 水情報国土データ管理センター：水文水質データベース
([HTTP://WWW1.RIVER.GO.JP/](http://www1.river.go.jp/))