第Ⅱ部門　　流出モデル構造の不確定性評価と洪水リスクアセスメントへの適用

京都大学工学部　学生員　○今村　公洋
京都大学防災研究所　正会員　田中　賢治
京都大学防災研究所　正会員　小尻　利治
京都大学防災研究所　正会員　浜口　俊雄

１．本研究の概要

今日，様々な流出モデルが提案されているが，必ずしも流出現象を完全に捉えることができるとは言えない．このため，解析され出力された流量と真の流量とに差が生じ，想定外の流量による被害が起こり得る．この差が生じる原因の一つが流出モデル構造の不確定性である．

そこで本研究では流出モデル構造の不確定性，特に，あるひとつのモデルパラメータの不確定性を考慮した時の，出力される流量の不確定性を評価した．つまり，出力された流量が出た条件での，真の流量の確率密度関数を求め，どの程度の不確定性があるのかを評価した．またそれを利用して，流量の不確定性を考慮した洪水リスク評価を行った．

実流域として福島県，宮城県，山形県を流れる阿武隈川で検証を行った．使用した入力データは，2002 年 7 月の阿武隈川流域での降雨を計画降雨に引き延ばして利用した．また，パラメータは透水係数が不確定な値であり，その他のパラメータは真値であると仮定し解析を行った．

本研究では流出モデルとして，分布型流出モデル Hydro-BEAM[1)]を用いた．

２．分布型流出モデル Hydro-BEAM

Hydro-BEAM は，流域の水循環に関わる水・物質動態や生態環境を評価する分布型モデルである．その適用範囲は蒸発散・積雪融雪・流出・地下水・水温・水質・生態など多岐に渡る． またその構造は，流域を正方形メッシュに区切り，それぞれのメッシュに鉛直構造を有する，メッシュ型多層モデルである．(図 1)　それぞれのメッシュはＡ層～Ｄ層の４層の鉛直構造を有しており，Ａ層～Ｃ層の水平流出量は河川に流入し，Ｄ層は河川流量には影響を及ぼさない地下水層とする．解析では，表面流とＡ層には kinematic wave 法を，Ｂ～Ｄ層には線形貯留法を適用する．

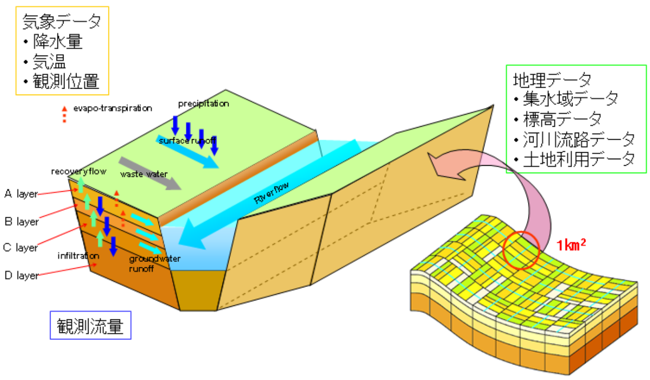

図１　Hydro-BEAM の概念図

３．解析手法

ｉ）パラメータの確率密度関数

モデルパラメータの不確定性を考える上で，真のパラメータが x となる確率密度関数 $p=f(x)$ を考える．真のパラメータ値は同定した値に近い可能性が高く，同定した値から離れた値である可能性は低いと想定される．そこで本研究では，真のパラメータ値の分布は中央値が同定した値 x'となるような正規分布であると仮定した．また，正規分布の関数は $\mu\pm3\sigma$ の範囲の中に約 99.7 パーセントの値が含まれるので，パラメータ値の取り得る範囲の上限下限のうち，同定値から遠いほうの値は取らず，同定値から近い方までの同定値からの距離が 3σ となるような標準偏差になると仮定した．

ⅱ）流量の確率密度関数

パラメータの確率密度関数に対応する流量の確率密度関数を考える．流量の確率密度関数は，正規分布の関数を Q の値に対して線形的にひずませた関数になると近似した．

ⅲ）洪水リスクへの適用

リスクの定義がされ，ある地点，ある時間での真の流量 Q に対するリスクを $Risk$ とすると，次のように表せられる．

$$Risk = g(Q)$$

このときの流出モデルにより出力された流量 Q'に対する

Koyo Imamura, Kenji Tanaka , Toshiharu Kojiri , Toshio Hamaguchi
koyo.imamura@hx7.ecs.kyoto-u.ac.jp

リスクを考える．

出力された流量 Q'に不確定性が存在しない時，真の流量は流出モデルにより出力された流量 Q'と等しいので次のように表される．

$$Risk = g(Q')$$

出力された流量 Q'に不確定性が存在する時，この出力された流量 Q'がでた条件の下での，真の流量の確率密度関数を $f_{Q'}(Q)$とすると，$Risk$ は期待値を考えて次のように表される．

$$Risk = \int_0^{\infty} g(Q) f_{Q'}(Q) dQ$$

4．解析結果

ｉ）不確定性評価

今回 PSO[2]により同定された透水係数の値は 5.55×10⁻⁷ であった。また透水係数の存在範囲が 1.50×10⁻⁷～1.00×10⁻⁶ であった，よって、パラメータの正規分布の平均を μ=5.55×10-7，分散を σ=1.2×10-7 とした．

透水係数の値が大きくなるにつれ流量が小さくなり，逆に透水係数の値が小さくなるにつれ流量が大きくなるという反応を示した．また流量の確率密度関数は全体的に少し右に歪んだ形となった．つまり透水係数が不確定性を持ち、真値が正規分布の確率で発生する時，真の流量は出力された値より大きくなる可能性が高くなるので，治水を行うときは十分注意する必要があるといえる．

ⅱ）洪水リスクへの適用

本研究では 2002 年 7 月 11 日の洪水時の降雨波形で計画降雨が発生した場合に，真の流量 Q がその地点の氾濫危険流量 R をこえることをリスクとした．ただし氾濫危険流量の情報がない観測点では，水位と流量の関係式(H-Q 式)を 3 次の多項式と仮定し，過去の水位流量データから多項式を推定し，氾濫危険水位から算出した．また各メッシュの氾濫危険流量 R は，観測点の氾濫危険流量から，観測点までの河道の距離に応じて線形的に変化するとして内挿した．

図 2，3 の示すように阿武隈川は下流域では，透水係数の不確定性による流量の不確定性を考慮しても，十分な治水が行われていると考えられる．しかし，上流域では洪水リスクが存在し，流量の不確定性を考慮するとさらに洪水リスクの存在するメッシュが増加するため，対策を打つ必要があると考えられる．

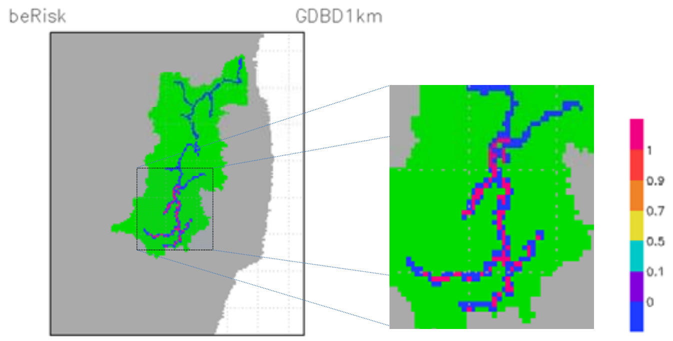

図 2　洪水リスク(不確定性を考慮しない)　分布図

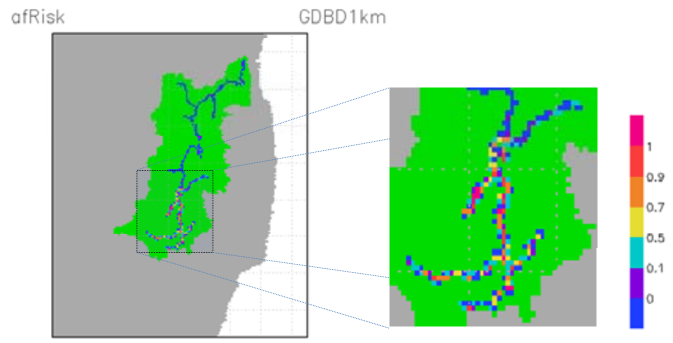

図 3　洪水リスク(不確定性を考慮する)　分布図

5．結論

本研究ではパラメータの不確定性を正規分布の確率密度関数と仮定して，出力された流量がでた条件の下での，真の流量の確率密度関数を考えることで，流量にどの程度の不確定性が存在するか評価することができた．またその不確定性を洪水リスクに適用し，より現実的な洪水リスクを考えることができたと思われる．

しかし，パラメータの不確定性は本来複数の同定データにより作成されるものなので，確率密度関数が正規分布になるとは限らない．また実際は複数のパラメータ，或いは入力値，観測値にも不確定性が存在するので，それらの不確定性を同時に考慮する必要があると思われる．

参考文献

1) 小尻利治，東海明宏，木内陽一．シュミレーションモデルでの流域環境評価手順の開発，京都大学防災研究所年報，第 41 号Ｂ-2，pp119-134,1998

2) K James Kennedy and Russsell Eberhart. Particle Swarm Optimization, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pp1942-1948, 1995.