

分布型土砂流出モデルの信頼性評価手法

京都大学大学院 学生員 ○ 佐山敬洋 京都大学防災研究所 フェロー 實 馨
 京都大学防災研究所 正員 立川康人

1 はじめに 分布型土砂流出モデルを構築し、インドネシアプランタス川上流域に適用する。モデルシミュレーションは流域規模の土砂動態の定性的な評価を可能としたが、定量的な評価のためにはパラメタのキャリブレーションが必要不可欠である。しかしながら、現段階ではそれを行うための十分な土砂データが対象流域で得られていないため、降雨流出関係のみでパラメタをキャリブレーションしている。本研究では、このパラメタの不確実性に起因するシミュレーションの誤差をモンテカルロシミュレーションを用いて評価し、結果の信頼性を向上させるために有効な観測を、その精度を含めて考察する。本研究で提案する信頼性評価手法は、非観測域での流出計算の信頼性を評価するための一つの手法となり得る。

2 分布型土砂流出モデル[1] 本研究で使用した分布型土砂流出モデルは、セル分布型流出モデルをベースに構築している。このモデルは表面流の輸送可能土砂量を各グリッド上で時々刻々計算し、輸送可能土砂量と流入土砂量のバランスから土砂の生産・堆積量を計算している。斜面上で生産された土砂は河道セルまで輸送され、河道セルでは一次元の流砂モデルにより土砂流出量を計算する。

3 土砂流出解析 対象流域のレスティ川流域はプランタス川の上流に位置し、流域面積は625km²である。流域は火山砕せつ物、火山噴出物で覆われており、それらの細かい土砂が降雨流出とともに大量に流出する。流域の7割から8割は耕作されており、耕地化はスメル山の頂上付近の森林にまで及んでいる。

大規模な降雨イベント(1995年12月4日~6日,総降雨量389mm,以下*SevereEvent*),および中規模な降雨イベント(1995年11月19日~21日,総降雨量:137mm,以下*ModerateEvent*)を入力降雨とし土砂流出解析を行う。土地被覆分類はADEOS/AVNIRリモートセンシング画像を用いて行う。森林では層厚1mのA層が存在すると仮定し、飽和・不飽和の中間流を考慮し

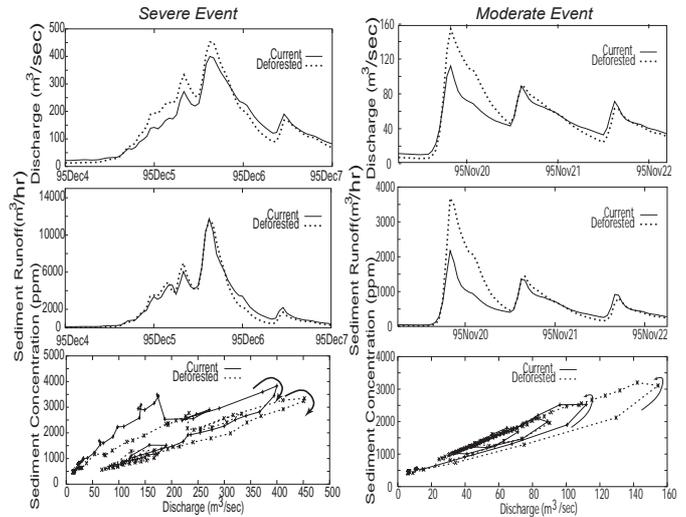


図1 土砂流出計算結果

た流出計算を行う。一方、耕作地ではA層が存在しないものと仮定し、表面流のみを考慮した流出計算を行う。現在の土地被覆条件での計算結果(Current)とともに、仮想的に森林がすべて耕地化された場合の計算結果(Deforested)を示す。

図1は降雨流出ハイドログラフ、土砂流出ハイドログラフ、および、土砂濃度ヒステリシスの計算結果である。Deforestedの条件では、降雨流出のピークがCurrentに比べると大きくなる。それに伴い、ModerateEvent中の土砂流出量もDeforestedの条件の方が多くなる。しかしながら、SevereEvent中の土砂流出量は両者の条件の間に顕著な差は見られない。この理由はSevereEvent中は河道内の土砂の輸送能力が極めて大きくなるため、土砂流出量は河道内の土砂存在量に大きく依存し、両条件でその存在量にあまり差がないためであると考えられる。

土砂濃度ヒステリシスは、SevereEventの計算結果のように、一般的に右回りのループを描くといわれている。しかしながら、ModerateEventでは、ループの回転方向が左回りとなっている。その原因はModerateEvent中の急激な降雨流出ハイドログラフの立ち上がりに対して、土砂流出ハイドログラフの立ち上がりが遅れているからである。このような急な降雨イベントに対しては、土砂はピーク以前に

キーワード: 分布型土砂流出モデル 信頼性評価 モンテカルロシミュレーション

連絡先 : 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 TEL 0774(38)4127 FAX 0774(38)4130

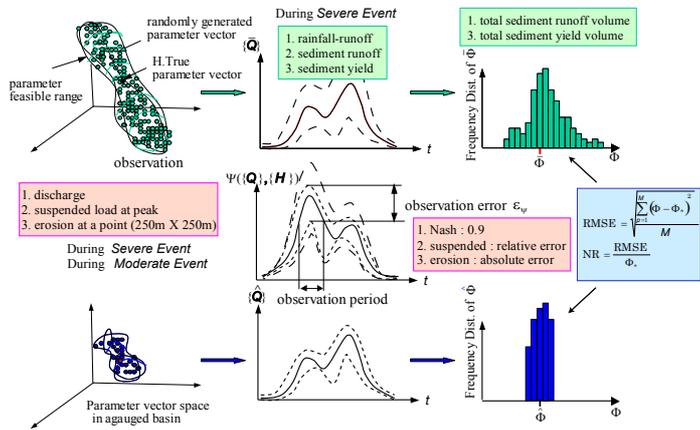


図2 信頼性評価手法概略図

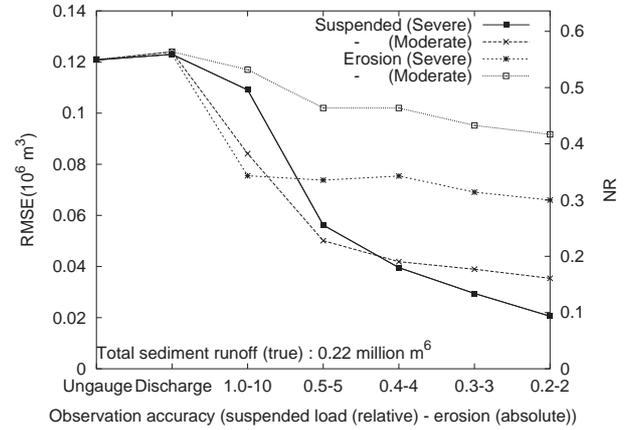


図3 観測の土砂流出予測の精度に与える影響

はあまり移動しておらず，ピークとともに上流から移動が始まる。

4 信頼性評価

4.1 方法 信頼性評価手法の概略図を図2に示す。本研究で提案する手法は，パラメタの不確実性に起因するシミュレーション誤差を評価するものであり，境界条件，初期条件，モデル構造は誤差を含まないと仮定している。手順は以下のとおりである。

1. 決定論的シミュレーションで用いた Current のパラメタベクタを用いてシミュレーションを行い，その出力結果を仮想的に真とみなす。ここで，入力降雨は *SevereEvent* とする。

2. パラメタベクタの各要素に対して確率分布を設定し，パラメタベクタを500個発生させる。仮想的な真値と比較した場合の土砂流出量，土砂生産量に対する RMSE，および相対誤差の平方根平均平方誤差 (NR) を計算する。これらの値はモデルキャリブレーションを行わない場合 (*ungauged*) に生ずるであろうモデル出力の誤差の推定値である。

3. 流量，ピーク時一時間の浮遊砂量，ある一地点での土壌侵食量を *SevereEvent* 中と *ModerateEvent* 中に観測したとする。観測誤差の最大値を ϵ_ψ と仮定すると，実際に得られる観測値 ψ_{obs} は真値 ψ_* を中心として， $\psi_* \pm \epsilon_\psi$ の範囲に入る。ここでは，Current のパラメタベクタのモデル出力(流量，浮遊砂量，土壌侵食量)を ψ_* とし，観測値 ψ_{obs} の範囲を推定する。

4. ランダムに発生させた500個のパラメタベクタのうち，それをを用いたモデル出力(流量，浮遊砂量，土壌侵食量)が上記で得られた観測値の範囲に入るものは，モデル使用者によって採用され得るパラメタベクタといえる。このパラメタベクタを用いて土砂

流出量と流域全体の土砂生産量を計算し，2.と同様 RMSE と NR を求める。これらの値は，キャリブレーションした場合に生ずる誤差の推定値である。

4.2 結果と考察 図3は観測が土砂流出量の予測精度にどのように影響を与えるかを示している。縦軸は RMSE 及び，NR でありモデル出力の誤差の推定値を表している。横軸は左より非観測 (*Ungauge*) の場合，流量観測 (*Discharge*) のみが行われた場合，浮遊砂量観測 (*Suspended*) もしくは土壌侵食量観測 (*Erosion*) が軸に示す誤差以内で行われた場合を表している。

物理モデルではパラメタの実現可能域がある程度推測可能であるが，非観測流域でまったくパラメタをキャリブレーションせずにシミュレーションを行った場合，0.5程度の相対誤差が含まれる。また，流量データを取得して，キャリブレーションを行ったとしても，土砂流出量予測にはその効果がほとんどないことが分かる。

図中の *Moderate* は，中規模な降雨時に観測を行って，大規模な降雨イベント (*SevereEvent*) に対する予測を行った場合の誤差を表している。いずれの降雨イベントにおいても，浮遊砂量観測を行うことは(たとえピーク時一時間の観測であっても)シミュレーションの精度向上に効果がある。土壌侵食量については *SevereEvent* 中に観測を行えば効果はあるが，*ModerateEvent* 中に観測してもほとんどその効果はない。ただし，土砂生産量予測に対する信頼性評価より，土壌侵食量を観測することは，全流域からの土砂生産量予測に有効であることが確認されている。

参考文献

[1] 佐山敬洋，寶馨: 斜面侵食を対象とする分布型土砂流出モデル, 土木学会論文集, No.726/II-62, pp.1-9, 2003.