

愛媛大学大学院 学生員 Celso Santos
愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一
愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広

ブラジル東端のパライバ州一帯では、伝統的に焼畑農業が営まれ、植生のない裸地が増加し続けているが、雨期には大量の土砂が侵食・生産され、河道へ流出して、種々の重大な問題を引き起こしている。

本研究は、こうした土砂流出現象を実用的に解析し得るシミュレーション・モデルの開発を目指したもので、既に検討¹⁾を進めているWESPモデルに、モデル・パラメータの最適化手法の1つであるSP法を組み入れた方法の適用性について、試験地流域（パライバ州スメ市近郊）を設定して検討した。

1. 解析対象流域（スメ試験地流域）

(1) 流域の概要（図1）

解析対象流域は、上述したスメ試験地流域である。本流域は、流域面積 0.52 ha、平均斜面勾配 7.1 % で、地表面は植生の全くない裸地で覆われている。また、本試験地一帯は、半乾燥地帯に属しており、年平均降雨量は 600 mm 前後と少ないが、大半は雨期の3ヵ月（2～4月）に集中しており、この期間には、裸地斜面より大量の土砂が生産され、河道へと流出している。

(2) 降雨・土砂流出の観測（図2, 3, 4）

本試験地の 1987～88 年の 23 出水に対し、降雨量、流出水量、流出土砂量が実測された。これより、それら諸量の関係について、次の諸特性が指摘された。① 前期無降雨日数により多少異なるが、降雨量が 10 mm 程度以下の降雨では、流出水、流出土砂はほとんど見られない。② 10 mm 以上の降雨の流出係数は、前期無降雨日数に応じて、0.2～0.7 の範囲にある。③ 流出土砂量と流出水量とは直線に近い関係を示す。④ 土砂生産率は非常に大きく、流出土砂量の流出水量に対する重量比は5%程度にも達する。

2. 土砂流出モデル（WESP）

WESPモデルでは、斜面と河道に分けて、土砂流出を追跡計算する。

まず、斜面上の流れは、有効降雨を分布横流入とする kinematic wave 流れとして取り扱う。ここに、浸透損失の算定には Green-Ampt 式を用いる。斜面上での土砂流出は、流れおよび雨滴による侵食と、

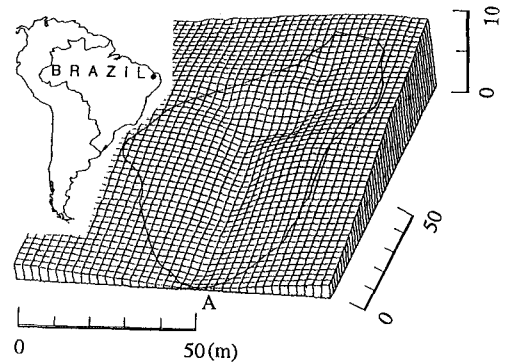


図1 スメ試験地流域

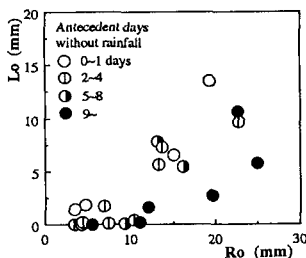


図2 降雨量 R_o ～流出水量 L_o

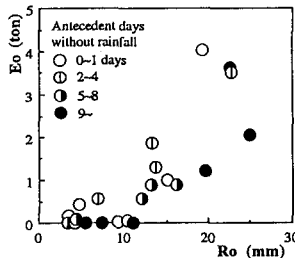


図3 降雨量 R_o ～流出土砂量 E_o

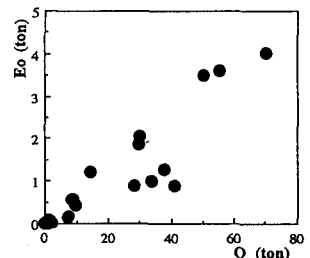


図4 流出水量 Q ～流出土砂量 E_o

浮遊土砂の沈降を考慮した土砂輸送の連続式を用いて追跡計算する。

次に、河道の流れは、斜面よりの流出水を分布横流入とする kinematic wave 流れとして取り扱う。また、河道での土砂流出は、流れによる侵食、斜面よりの横流入に伴う土砂流入、および浮遊土砂の沈降を考慮した土砂輸送の連続式を用いて追跡計算する。

なお、WESPで用いられるモデル・パラメータのうち、 K_I （雨滴による斜面侵食に関する比例係数）、 K_R （流れによる斜面侵食に関する比例係数）、 N_s （土壌水分吸引係数）、 a （河流による壁面侵食に関する比例係数）の4パラメータについては、それらの適値を予測することは、通常、非常に困難である。したがって、本モデルの実用性と適合性を一層向上させるためには、それら適値を自動的に探索する数学的最適化手法を導入する必要がある。

3. SP法によるモデル定数の最適化とその試験地流域への適用

数学的最適化手法として、SP法（Standardized Powell Method）²⁾を採用した。本手法は、非線形関数の最小値を探索する優れた方法として知られている Powell の共役方向法を、永井らが改良し、提案したもので、全変数を初期値で基準化して用いることにより、収束性を著しく改善できるとしている。なお、WESPモデルにSP法を導入した場合、具体的には、流出水量と流出土砂量の両者について、計算値（ L_c , E_c ）の実測値（ L_o , E_o ）に対する相対誤差を最小とするような4パラメータの値を探索してゆくことになる。

前述したスミ試験地流域での7出水を対象に、SP法を適用し、4つのパラメータの適値を探索した。得られた結果を表1および図5に示す。これらより、得られた適値を用いた流出シミュレーションの相対誤差の平均値は10%程度であること、および N_s は前期無降雨日数のべき関数として表されることが分かる。また、（ N_s を除き）得られた適値の平均値を用いたときのシミュレーション結果の相対誤差の平均値も、図6に示すように、15%程度に納まっている。

参考文献：1) Srinivasan, V. S., C. Santos, K. Suzuki, and M. Watanabe : Sediment yield observed in a small experimental basin and its simulation by runoff-erosion modeling, Proc. Hyd. Eng., JSCE Vol. 37, pp. 717~722, 1993.
2) 永井明博・角屋 睦：流出モデル定数の最適化手法，京大防災研年報，第22号B-2，pp. 209~224，1979年。

表1 SP法によるモデルパラメータの最適化と計算結果の相対誤差

Number	N_s (mm)	a ($\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$)	K_R ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$)	$K_I \times 10^8$ ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$)	L_o (mm)	L_c (mm)	E_o (kg)	E_c (kg)
1	20.25	0.0172	2.035	7.6	2.741	2.887	1214.610	1214.622
2	91.80	0.0128	2.098	3.4	5.712	5.489	2061.860	2061.926
3	7.45	0.0189	2.760	1.5	1.577	1.685	568.490	568.704
4	8.25	0.0139	2.119	2.0	5.669	4.641	1875.530	1875.588
5	37.60	0.0140	2.116	2.3	10.600	7.437	3615.400	3615.525
6	15.50	0.0136	2.189	6.1	9.633	8.890	3504.550	3504.550
7	5.53	0.0138	1.744	11.6	0.446	0.306	40.730	40.730

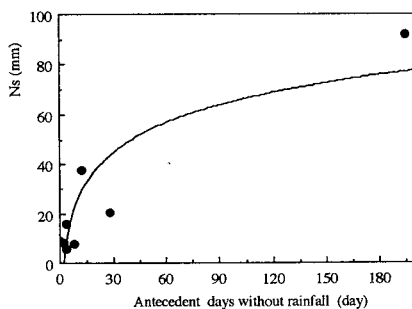
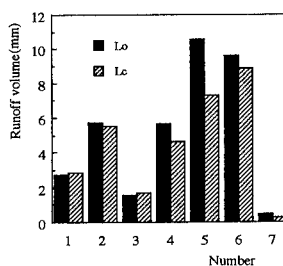
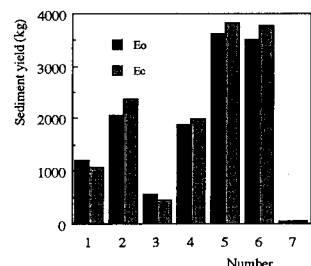


図5 N_s と前期無降雨日数の関係



(a) 流出水量



(b) 流出土砂量

図6 計算結果の相対誤差