

II-154 流域侵食モデルの適用と遺伝子進化アルゴリズムによるモデルパラメータの決定

愛媛大学工学部	学生員	高橋広和
愛媛大学工学部	正 員	C. サントス
愛媛大学工学部	正 員	渡辺政広
愛媛大学工学部	フェロー	鈴木幸一

1. はじめに

キネマティックウェーブ流れに基づく降雨による土壌侵食と土砂流出の一次元解析モデル(WESP-Watershed Erosion Simulation Program)における4つのパラメータ(土壌水分吸引定数 N_s , 河道侵食係数 a , せん断土壌分離係数 K_R , 雨滴衝突土壌分離係数 K_I)の最適値を遺伝子進化アルゴリズム(GA 法)により決定した。侵食モデルを適用した流域はブラジル東北部の半乾燥地にあるスメ試験地である。

2. 遺伝子進化アルゴリズム(SCE-UA 法)の概要¹⁾

WESP モデルは4つの未定定数(パラメータ)を持つモデルであるが、降雨と流出土砂量の実測値を用いてこれらの定数を決定する必要がある。評価関数 J ($J = |E_o - E_c|/E_o$, E_o : 観測流出土砂量, E_c : 計算流出土砂量)を最小とする未定定数の最適な組み合わせを求める方法で GA 法の一つである SCE-UA(Shuffled Complex Evolution-University of Arizona)法は、遺伝子進化の原理から得た概念に基づいたものである。この SCE-UA 法ではまずパラメータの組み合わせ(Point)を複数のグループ(Complex)に分け、それぞれの Complex でより小さい J を与える複数の Point を用いて、大きな J を与える Point を改良し J を小さくする Point を求める(進化させる)。その進化した Point をその他すべての Point と共にシャッフルした後、再び Complex に分けて進化させることから成る。この方法はランダムに調べる Simplex 法の長所を備えており、効果的にパラメータを最適化するだけでなく、パラメータの実行可能領域全体の最適値が得られるなど SP 法(Standardized Powell Method)や他の最適化手法と比べて優れている。

3. スメ試験地への適用

降雨による斜面侵食の測定と解析の対象としたスメ試験地流域は、ブラジル北東部の小都市スメに位置する試験地流域である。この流域はブラジルの代表的な半乾燥地域にあり、年間の降水量は約 590mm と少なく降雨は雨期である1月から5月にかけて、特に2月から4月にかけて集中している。この試験地斜面の流域面積は 0.52ha、平均斜面こう配は 7.1%で、地表面に植生はなく表土の平均粒径は 0.5mm である。シミュレーション対象降雨として 1987 年から 1991 年の降雨の中から一部の降雨流出を選んだ。これらの降雨は最大降雨強度 100mm/hr 前後の降雨が 10 分から 20 分間に集中して発生し、平均降雨強度は 10mm/hr 前後である。WESP モデルにより最適化を行うパラメータは河道侵食係数 a , せん断土壌分離係数 K_R , 雨滴衝突土壌分離係数 K_I , 土壌水分吸引定数 N_s の4つである。これらのパラメータのうち a , K_R , K_I は土壌特性により決まる定数であり、 N_s は降雨開始時の土壌水分量により変化するので降雨により異なった値をとることがそれぞれ分かっている。本シミュレーションにおいては N_s の値は実測の流出水量と降雨の関係により試行錯誤的に決定し、 a , K_R , K_I を SCE-UA 法を用いて決定した。このとき、本シミュレーションでは SCE-UA 法におけるパラメータを次のように定めた。 n (未知パラメータの数) = 3, m (Complex 内の Point の数) = 7, q (係数) = 4, α (係数) = 1, β (係数) = 7。

a , K_R , K_I のシミュレーション結果によりスメ試験地においては平均的に $a=0.0084\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$, $K_R=2.585\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$, $K_I=6.222\times 10^8\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$ であることが分かった。

4. SCE-UA 法の精度

従来よく使われているパラメータ決定法の一つである SP 法においては初期値の設定によって、局所的最適値を求めることがしばしばあるが、SCE-UA 法は初期値をどこに設定しても必ず最適値を求めると言われている。今、 a の値をキーワード:SCE-UA 法, 遺伝子進化アルゴリズム, 最適化, WESP モデル, 降雨侵食

連絡先: 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学工学部環境建設工学科 TEL/FAX 089(927)9831

例に述べると、初期値を実行可能領域内でランダムに 10 個設定し、それぞれの初期値に対して a に対する試行回数と収束状況を図1に示した。この結果、 a に関しては 50 回程度の試行回数で収束することが分かった。

SCE-UA 法で最適化された上記の a , K_R , K_I の平均値を用いて WESP モデルによりそれぞれの流出土砂量 E_c (Sediment Yield)と流出水量 L_c (Runoff Depth)を求めた。これら計算により求められた E_c および L_c を実測値である E_o および L_o と比較(図2(a), (b))すると、多少の誤差が認められたが全体的には精度のよい結果が得られていることが分かる。

5. 新しい進化

スモ試験地への SCE-UA 法の適用においては、1度 Complex 内の Point が進化するときを1回と数えると平均 854.18 回の進化をしていた。

現在のSCE-UA法の精度と計算速度を向上させるため、新たな進化を考えた。

現在の SCE-UA 法では Reflection, Contraction, Mutation の3つの進化法を用いて最適化を行う(図3)。Reflection とは最も悪い Point を Complex 内にある他の Point の中心に対し対称に移すことであり、Contraction とは最も悪い Point を Complex 内にある他の Point の中心との中間に移すことであり、Mutation とは最も悪い Point を Complex 内にある他の Point のそれぞれの軸に対して、最大値と最小値の範囲内で無作為で移すことである。

今回新たに考えた進化法とは、最も悪い Point を Reflection Point に対し対称に移す Expansion, および最も悪い Point を Complex 内にある他の Point の中心と Reflection Point の中間に移す Positive Contraction である(図3)。ここでは従来 Contraction と呼んでいたものを Negative Contraction と呼ぶことにする。

6. おわりに

SCE-UA 法は初期値として与えるパラメータの値に関わらず等しい値に収束させることができる最適化手法であるといえる。また、SCE-UA 法により求められたパラメータを用いて WESP モデルにより流出土砂量と流出水量を精度よくシミュレートできることが確かめられた。

参考文献

- 1)Duan, Q., S. Sorooshian, and V. Gupta: Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 4, pp. 1015-1031, 1992.

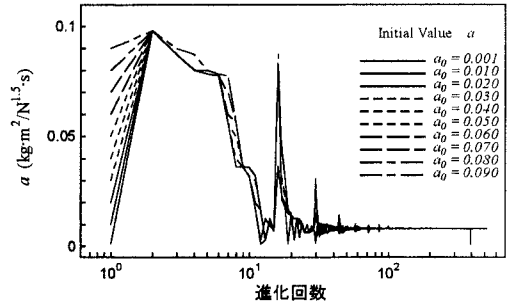


図1 初期値と a の収束状況

流出水量 (mm)

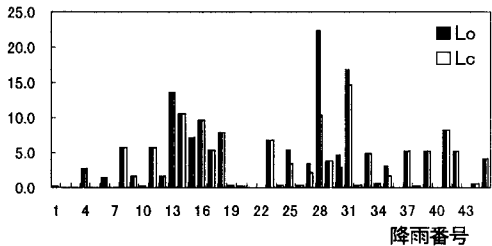


図2(a) 流出水量の実測値と計算値の比較

流出土砂量 (kg)

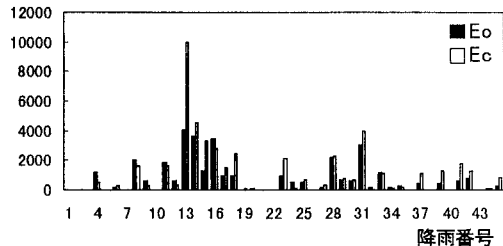


図2(b) 流出土砂量の実測値と計算値の比較

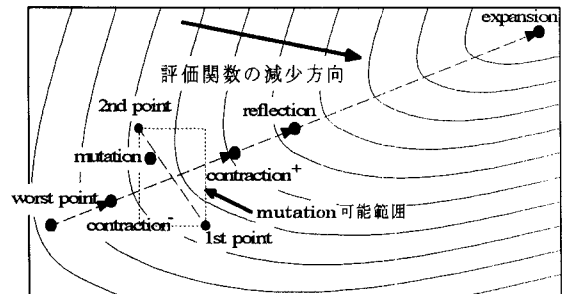


図3 進化モデル