

新しい最適化アルゴリズムによる雨天時 路面排水流出負荷量モデルの研究

日本水工設計(株) ○ 程 先雲
井前 省吾

閉鎖性水域や合流改善の対象流域では、都市域の面源負荷(ノンポイント汚染)が問題となっているが、その流出現象に関しては不確定要素が多く、モデルやパラメータの最適化が求められている。

本研究では、従来の最適化アルゴリズムを改良することによって、限られたモニタリングデータから最適解を導き出す自動キャリブレーション手法を更新し、路面排水流出負荷量モデルの最適化を行った。

1. 最適化の手順

路面排水に関する最適化の流れを以下に示す。

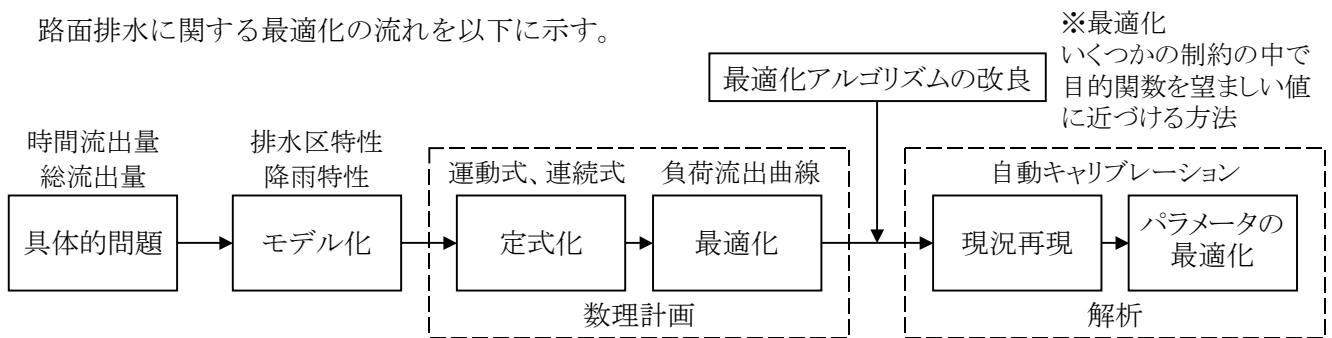


図 1 路面排水流出負荷量モデルの最適化の流れ

2. 最適化アルゴリズムの改良

遺伝的アルゴリズム等の改良^{注1)}に続き、最適化問題で広く利用されているシンプレックス法の改良を行った。

注1)参照:第41回下水道研究発表会II-2-1-5 遺伝的アルゴリズムによる自動キャリブレーションおよび不明水シミュレーションの研究

(1) シンプレックス法

シンプレックス(単体)とは、 n 次元空間で $n+1$ 個の点によって形成される図形であり、反転(reflection)、拡張(expansion)、収縮(contraction)によって目的関数を最適化する方向に進め、最適解を見つける方法である。

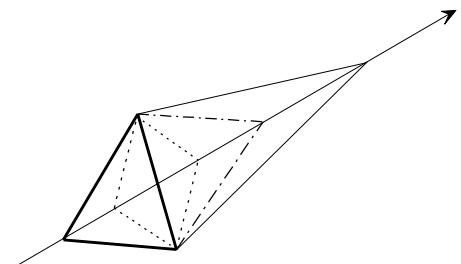
なお、シンプレックス法はローカル(局所的)な最適化アルゴリズムであり、極値が複数ある複雑な問題の場合には、グローバル(全体)な最適解を得られない場合がある。

(2) 新しいシンプレックス法

シンプレックス法に適用した新しいアルゴリズムは以下の3ステップを含む。

- ・ステップ1: 複数のシンプレックスからスタートする(多重スタート)
- ・ステップ2: シンプレックスをランダムに混合する(Shuffle)
- ・ステップ3: シンプレックスをランダムに交差する(Crossover)

これらのステップを取り入れることによって、グローバルな最適解を確実に求めることが可能となる。



— Original Simplex - - - Reflection Simplex
— Expansion Simplex ····· Contraction Simplex

図 2 シンプレックス法(2次元の例)

2次元を例とした場合の新しいシンプレックス法を以下の図3に示す。

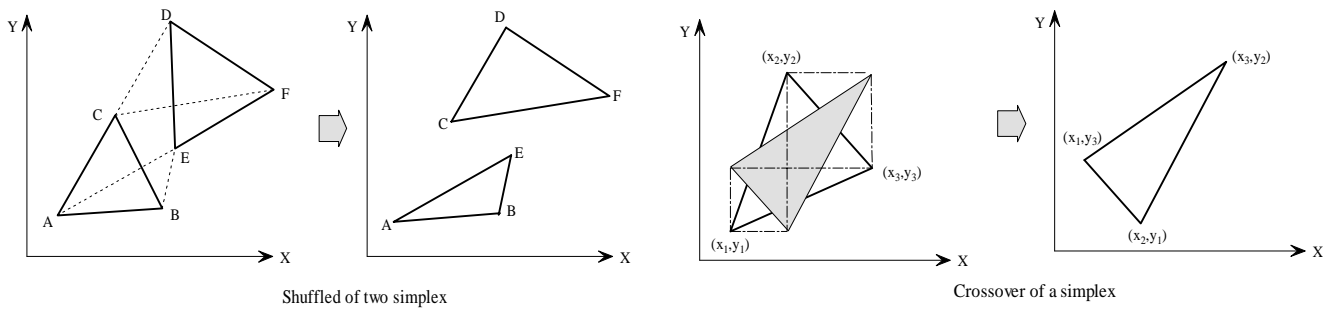


図3 改良された新しいシンプレックス法（2次元の例）

この新しいアプローチを自社開発の多目的最適化ソフト（Model Fit）に組み込み、路面排水流出負荷量モデルのキャリブレーションに適用した。なお、比較のために改良した遺伝的アルゴリズムによる解析結果も併記するものとした。

3. 路面排水モデルの最適化

(1) モデル地区の概要

モデル地区の概要を以下に示す。

- ・ 道路構造：盛土部 4 車線道路・密粒アスファルト舗装
- ・ 集水面積：995m²（片側 2 車線）
- ・ 測定項目：BOD、COD、路面排水流量
- ・ 沿道状況：山間部（遮音壁・街路樹無し）
- ・ 調査期間中の先行晴天日数：1～10 日（平均 3.8 日）
- ・ 調査日の降水量：0.4～23.9mm（平均 6.8mm）

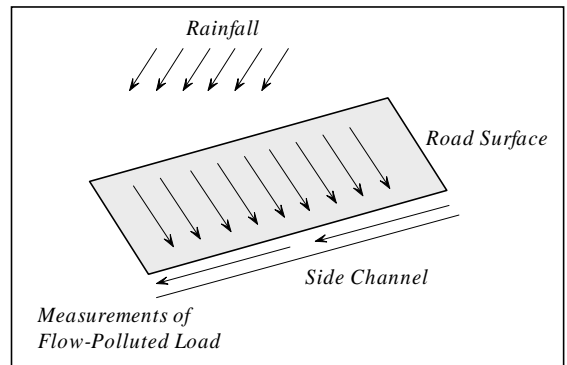


図4 モデル化のイメージ

(2) 汚濁負荷予測モデル

路面排水から流出する汚濁負荷量を予測するモデルの基本式を以下に示す。

式(1)は運動式、(2)は連続式である。

$$\begin{cases} L_t = k \cdot S_t \cdot Q_t & (1) \\ S_{t+1} = S_t - \int L_t dt & (2) \end{cases}$$

ここに、 L_t : t 時刻汚濁負荷流出量 (g/m²/hr)

k : 汚濁負荷量流出係数 (1/mm)

Q_t : t 時刻雨水流出強度 (mm/hr)

S_t, S_{t+1} : t と $t+1$ 時刻路面堆積負荷の残存量 (g/m²)

使用したパラメータ：

モデル地区での6回の調査結果（プロセス）をもとに BOD と COD を一緒にキャリブレーションすると、6回のプロセスに応じたパラメータは：

- ・ 初期 BOD 汚濁負荷量: S_{BOD} , 総数 6、単位: g/m²
- ・ 初期 COD 汚濁負荷量: S_{cod} , 総数 6、単位: g/m²
- ・ BOD と COD 汚濁負荷量流出係数: K_{bod}, K_{cod} , 総数 2、単位: 1/mm

※パラメータの総数: 6 + 6 + 2 = 14 (汚濁負荷量流出係数は各プロセス共通のパラメータ)

(2) 自動キャリブレーション

図 5 に遺伝的アルゴリズムとシンプレックス法による解析結果の RMSE (平均 2 乗誤差平方根) を示す。表 1 に自動キャリブレーションによって得られた結果を示し、図 6 に路面排水のシミュレーションの例を示す。

自動キャリブレーションの結果として、異なる 6 ケースで共通するパラメータ (汚濁負荷量流出係数) と各ケースの初期条件 (初期路面堆積負荷) を見出すことができた。

相関係数はいずれも 0.93 以上である。

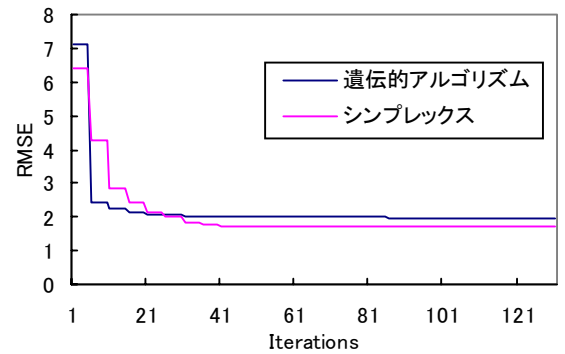


図 5 解析結果の比較

表 1 自動キャリブレーションによって得たパラメータ, 初期条件及び決定, 相関係数

降雨と路面排水の過程		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	平均	
共通のパラメータ		BOD 汚濁負荷量流出係数: $K = 0.1723$ COD 汚濁負荷量流出係数: $K = 0.3916$							
初期条件	BOD	33.5285	176.3703	178.4771	36.6685	53.1070	46.5997		
	COD	42.8577	169.7169	216.4753	40.4935	50.8041	53.9789		
決定, 相関係数	BOD	DC	0.98747	0.99233	0.89660	0.96767	0.97450	0.84469	0.9439
		R	0.99606	0.99617	0.95246	0.98681	0.98742	0.93579	0.9758
	COD	DC	0.99549	0.96690	0.98657	0.99085	0.98412	0.95292	0.9795
		R	0.99779	0.98333	0.99531	0.99542	0.99248	0.97977	0.9907

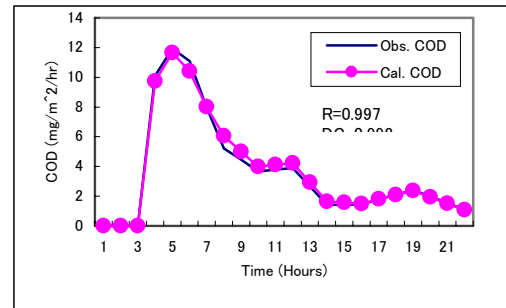
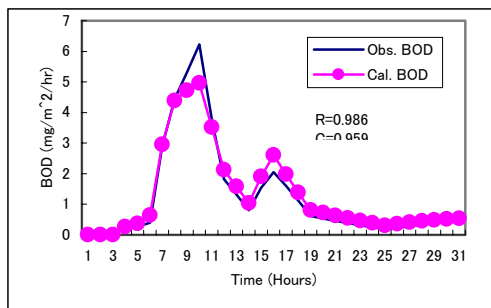


図 6 路面排水のシミュレーション例

4. おわりに

アルゴリズムにはそれぞれに特徴があり、様々な最適化問題に対応するためには、複数のアルゴリズムを準備しておく必要がある。改良したシンプレックス法は、路面排水流出負荷量のキャリブレーションにおいて遺伝的アルゴリズムを若干上回る精度が確認された。

シミュレーションにおいては、予測のシナリオに応じて、初期条件 (初期路面堆積負荷) の設定が必要である。また、先行晴天時間等との関係から初期条件を設定する場合には、別途、初期条件設定のための定式化・最適化が必要である。

問い合わせ先: 〒104-0054 東京都中央区勝どき3-12-1 日本水工設計(株)東京支社第1技術部 井前 省吾
 Tel: 03-3534-5526 Fax:03-3534-5520 Email: s-inomae@n-suiko.co.jp