

VII-273

土壤汚染概況調査における試料採取地点の最適配置

京都大学大学院 学生会員 木内 智明
 京都大学大学院 正会員 米田 稔
 京都大学大学院 フェロー 森澤 眞輔
 三機工業株式会社 大塚 順基

1. はじめに

現在、土壤汚染の概況調査において、土壤のサンプリング密度は概ね1000m²につき1ヶ所、試料採取は1ヶ所につき、基本的には中心1地点及び周辺4方位の5mから10mまでの間からそれぞれ1地点の合計5地点で行うという5地点混合方式¹⁾が提示されているが、その合理的な根拠については明らかにされていない。米田ら²⁾は、遺伝アルゴリズム(GA)³⁾を用いて5地点混合方式における試料採取地点の最適配置を求めているが、最適配置の探索に失敗するケースも見られた。本研究では、GAに加えてニューラルネットワーク(N.N.)⁴⁾を利用したアルゴリズムを用いて、より一般的な条件下での試料採取地点の最適配置決定を目的とする。

2. 評価関数と相関関数

2次元座標を表すベクトルをX、水平2次元空間で分布する確率変数をZ(x)とする。Z(x)に等方性を仮定すると、x₁とx₂でのZ(x)の値Z(x₁), Z(x₂)の共分散は、x₁, x₂間の距離hのみの関数C(h)となる。Z_kを領域全体Sでの空間平均、Z_N=Z(x_{N,j}) (j=1, 2, ..., n) のn個の地点での算術平均とし、Z_kをZ_Nで推定するものとする。このとき、Z_kと、有限個の測定地点での平均値Z_Nの差を2乗したものの期待値は次式のようにになる。

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{S^2} \int_S \int_S C(|X-X'|) dX' + S_z^2 + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C(|X_{N,i} - X_{N,j}|) + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f(X_{N,i}) f(X_{N,j}) - \frac{2}{nS} \sum_{i=1}^n \int_S C(|X - X_{N,i}|) dX - \frac{2}{n} S_z \sum_{i=1}^n f(X_{N,i}) \quad (1)$$

ここで $|X_{N,i} - X_{N,j}|$ はx_{N,i}, x_{N,j}間の距離、f(X)はZ(X)の期待値、 $S_z = \frac{1}{S} \int_S f(X) dX$ 、各積分は領域全体Sでの面積分を表す。本研究では式(1)を評価関数として配置の優劣を評価する。σをZ(x)の標準偏差とすると、相関係数r(h)は、 $r(h) = C(h)/\sigma^2$ で定義されるが、その関数形として、本研究では米田らの研究と同じく以下の3つの相関関数形について検討した。

$$\text{指数型: } r(h) = \exp\left(-\frac{h}{L}\right) \quad (2)$$

$$\text{ガウス型: } r(h) = \exp\left(-\left(\frac{h}{L}\right)^2\right) \quad (3)$$

$$\text{球面型: } r(h) = \begin{cases} 1 - \frac{3}{2} \frac{h}{L} + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{L}\right)^3 & (0 \leq h \leq L) \\ 0 & (L \leq h) \end{cases} \quad (4)$$

ここでLは、相関の強さを決定するパラメーターである。

3. 最適配置探索の手法

1000m²の正方形領域に空間的定常性を仮定した場合（この場合、式(1)のf(X)は定数）において、式(1)の値を最小にする5個の試料採取地点配置の探索を各アルゴリズムにより行い、その性能を比較した。米田らの研究では、解の選択方法としてランク方式とエリート主義戦略を採用したGAによる解析を行い、

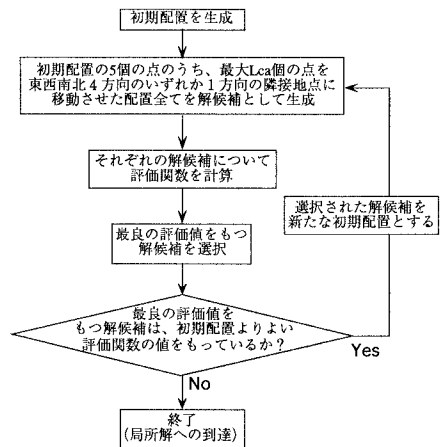


図1 本研究で用いたニューラルネットワークのフローチャート

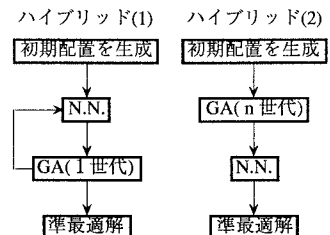


図2 本研究で用いたハイブリッドアルゴリズムのアイデア

キーワード：土壤汚染、5地点混合方式、試料採取地点配置、遺伝アルゴリズム、ニューラルネットワーク
 連絡先：京都市左京区吉田本町 (Tel. 075-753-5156 Fax. 075-753-5066)

条件によっては最適解に十分収束していない可能性を示していた。よって本研究ではN.N.を利用して、局所探索能力の高いアルゴリズムを構築し（図1参照）、さらに、GAとN.N.を組み合わせた2種類のハイブリッドアルゴリズムを構築した（図2参照）。ハイブリッド(1)は、生成された初期配置それぞれに対してN.N.による探索を行い、得られた配置の集合に対してGAを1世代分（GAにおける一連の処理の繰り返し単位を世代という）すすめ、この動作を繰り返す、というもので、ハイブリッド(2)は、まずGAを何世代か進ませて最適解の近傍への大まかな収束を行い、途中でN.N.に切り替えて局所探索を行う、というものである。性能を比較した結果（図3参照）より、ハイブリッド(1)のLca=1による探索を最も効率的な探索方法であるとした。

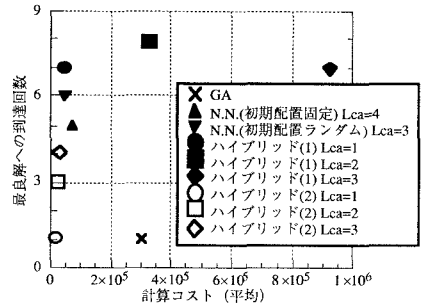


図3 各アルゴリズムの性能比較
(Lcaの定義は図1参照)

4. 5地点混合方式における試料採取地点の探索（空間的に非定常の場合）

本研究ではさらに、空間的に非定常の場合としてトレンドがx方向のみの1次関数 $f(x)=ax+b$ で表されるケース（このとき、一辺の長さが 2ℓ の正方形領域を仮定して、座標系 $X(x,y)$ の原点は領域の中心に位置しているとする）について、ハイブリッド(1)のLca=1のアルゴリズムを用いた最適配置探索を行った。この場合の評価関数は次のようになる。

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{16\ell^4} \int_s dX \int_s C(|X-X'|) dX' + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C(|X_{N,i}-X_{N,j}|) + \frac{a^2}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{N,i} X_{N,j} - \frac{1}{2n\ell^2} \sum_{i=1}^n \left(C(|X-X_{N,i}|) \right) dX \quad (5)$$

1000m²の正方形領域において、式(5)中のaを σ で割った a/σ を1,5,10とし、Lの値を3,15,60mとした場合の探索結果のうち、式(3)のガウス型相関関数形を仮定した場合について図4に示す。探索結果より、x方向のみの1次関数のトレンドの係数は、最適配置とその評価関数の値には影響を及ぼさないと推定される。

5. 5地点混合方式における試料採取地点配置の検討

1000m²の正方形領域における探索結果より、相関関数形や相関の強さによって最適配置の形は必ずしも等しくはならないが、その中でも、図5のような、領域の中心に1点、対角線上の対称な位置に残りの4点を中心から約13m離れた配置が最も多かった。そこで、これまでに探索を行ってきたそれぞれの統計的な場において、図5型配置による評価関数の値と、アルゴリズムによる最良解の評価関数の値を比較した。その結果、図5型配置による評価関数の値は、多くのケースにおいて、アルゴリズムによる最良解の評価関数の値と同程度であったため、場の統計的性質が不明の場合でも、図5型の配置は、最適配置として有効であると考えられる。

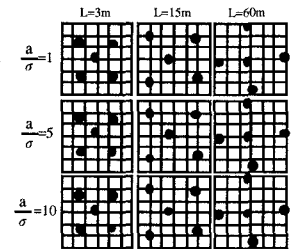


図4 空間的に非定常の場合の最適配置探索の結果
(ガウス型相関関数)

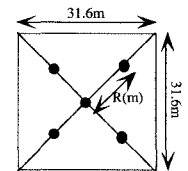


図5 対角線上への試料採取地点の配置

6. まとめ

本研究では土壤汚染の概況調査において、5地点混合方式における試料採取地点の最適配置を決定するために、GAとN.N.を利用した最適化アルゴリズムを構築し、様々な統計的性質を仮定した約1000m²の正方形領域に対して最適配置の探索を行った。その結果、x方向のみの1次関数のトレンドの係数は、最適配置とその評価関数の値には影響を及ぼさないと推定された。また、領域の中心に1点、対角線上の対称な位置に残りの4点を中心から約13m離れた配置は、場の統計的性質が分からない場合の配置として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 環境庁水質保全局水質管理課土壌農薬課監修;土壌・地下水汚染対策ハンドブック,p.114,公害研究対策センター,1996
- 2) 米田稔,森澤真輔,西村留美;「土壌汚染概況調査の5地点混合方式における試料採取地点最適配置」土木学会論文集,1999(掲載予定)
- 3) (例えば)L. デービス;「遺伝アルゴリズムハンドブック」森北出版,1997
- 4) (例えば)武藤佳恭;「知識・情報・メディアノシリーズ ニューラルネットワーク」産業図書,1996