

情報の価値に基づく調査地点最適化と経験的最適化の比較

東京都市大学 学生会員 ○田崎 陽介

東京都市大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

これまで、調査計画の多くは経験的に立案されてきた。著者らは、情報の価値 (Value of Information, VoI) の考え方にに基づく最適な調査計画の方法について研究を進めてきた¹⁾。これにより、不確定性の大きさだけではなく、限界状態を超過した場合の影響度の大きさを考慮した最適配置の検討が可能である。

環境省のガイドライン²⁾には土壤汚染調査に対する調査地点配置として、5地点均等混合方式が示されている。本研究では、2次元空間における土壤汚染調査を例として、提案手法により調査地点を決め、空間分布推定手法であるクリギングを用いて汚染領域を検出することを試みた。経験的に決めた汚染源の分布、確率場のサンプル実現値として作成した汚染源の分布の2つについて検討を行った。さらに、人の判断による調査地点配置に基づく汚染領域の推定と、提案手法による配置との比較を行った。

2. 情報の価値に基づく最適配置の検討手法

情報の価値 VoI とは、不確定性を考慮した意思決定のための指標であり、環境リスク、医学、情報工学などの多くの分野で利用されている。クリギングを用いて対象領域内の汚染濃度の推定値とその不確定性の分布を推定する。本研究では、推定値が基準値 (=1.0) を上回る場合は対策が必要、下回る場合に対策不要とする。対策不要と判断した場合に実際には必要であった場合、人的被害等が発生する可能性があり、その経済損失を C_{12} として考慮する。対策不要と判断した場合に実際に不要な場合は C_{11} とする。同様に対策必要と判断した場合に、実際には不要な場合は C_{21} 、実際に必要な場合は C_{22} とする。各ペナルティとその発生確率を乗じて意思決定に関するコスト期待値を算定する。コスト期待値が小さくなるように意思決定をすることが合理的である。対策が不要である確率を P_1 、評価点を i とすると、

評価領域全体における判断によるコストの期待値 J は、次式より求められる。

$$J = \sum_i \min(C_{11}(1 - P_{1,i}) + C_{12}P_{1,i}, C_{21}(1 - P_{1,i}) + C_{22}P_{1,i}) \quad (1)$$

追加調査を行う場合と行わない場合のコスト期待値の差分が VoI である。評価点における汚染度の評価値ベクトル x が、追加観測量ベクトル z によって更新 (クリギング) されたとする。観測量ベクトルに関する確率密度分布を $p(z)$ とすると、VoI は次式で表される。

$$VoI = \int J(x|z)p(z)dz - J(x) \quad (2)$$

VoI が最大となるような調査の配置は、コスト期待値を最小にする配置であることを意味する。最適化には、大域解探索手法の一つである粒子群最適化手法 (Particle Swarm Optimization, PSO) を用いる。

3. 土壤汚染対策を対象とした最適調査配置

例題として2次元空間において汚染地域を検出する問題を取り上げる。環境省のガイドライン²⁾に示された5箇所で行い、汚染の程度を確認する。その情報に基づき、次の調査位置を決定する。新たな調査地点の汚染情報を踏まえて次の調査地点を決定する。この手順を繰り返して汚染領域を特定する。調査対象地域は32m×32mの正方形とした。

図-1に示す経験的に決めた汚染源分布を真の分布として、上記の手順を3回繰り返し、計20点の調査から汚染源の推定を行った結果を図-1(1)に示す。提案手法では自己相関距離7.5m、場の平均1.0、場の標準偏差0.1、観測誤差の標準偏差0.01とした。コスト C_{11} , C_{12} , C_{21} , C_{22} は0, 10, 2, 2と仮定した。汚染領域が正確に同定されていることがわかる。上記と同様の手順で大学生12名にアンケートを実施し、人による調査位置の決定、汚染領域の推定を行った。

図-1(2)に人の判断による推定結果において最も VoI

キーワード 意思決定論, リスク, 不確実性, 確率場, クリギング, 最適配置

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104

が高かったものを示す。VoI が高い調査配置の人の結果は同定結果も良好であった。図-1(3)に提案手法による配置と人による経験的配置の VoI を比較した結果を示す。提案手法は VoI の最適化から配置を決めているため、当然ながら最も VoI が高い配置は提案手法である。

次に、平均 0.0、標準偏差 1.0、自己相関距離 8.0m とし相関を持った正規乱数を発生させ、図-2 に示す汚染の分布を作成した。クリギングには例題作成時と同じ自己相関距離などの場の特性値を用いた。コストは前の例題と同じ値を仮定した。図-2(1)に示すように、提案手法は正確に汚染領域を同定している。また、大学生 18 名と実務者 3 名によるアンケートに基づく、人の判断による推定を行った。図-2(2)に人の判断による推定結果において最も VoI が高かったものを示す。3 か所とも推定できた人はいなかった。図-2(3)に示すように、こちらの例題でも最も VoI が高い配置は提案手法である。

4. おわりに

本研究では、汚染領域を検出するための追加調査

地点の最適配置について情報の価値 VoI に基づいて決め、汚染領域を推定する方法を示した。2 番目の例題ではランダム成分の標準偏差や自己相関距離などの場の特性パラメタは真の値を用いた。自己相関距離は汚染領域を検出するための重要なパラメタであり、実問題に適用する場合は各ステップにおいて観測情報が増えるに従い、最尤法などで更新することが必要となる。こうしたデータ適用型のアルゴリズムの開発は将来的研究課題の一つである。

参考文献

- 1) I. Yoshida, Y. Tasaki, Y. Otake, Stephen. Wu : Optimal sampling placement in a Gaussian random field based on Value of Information, ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, Vol. 4, No. 3, 2018.
- 2) 環境省: 土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン (改訂第 2 版), 2012.

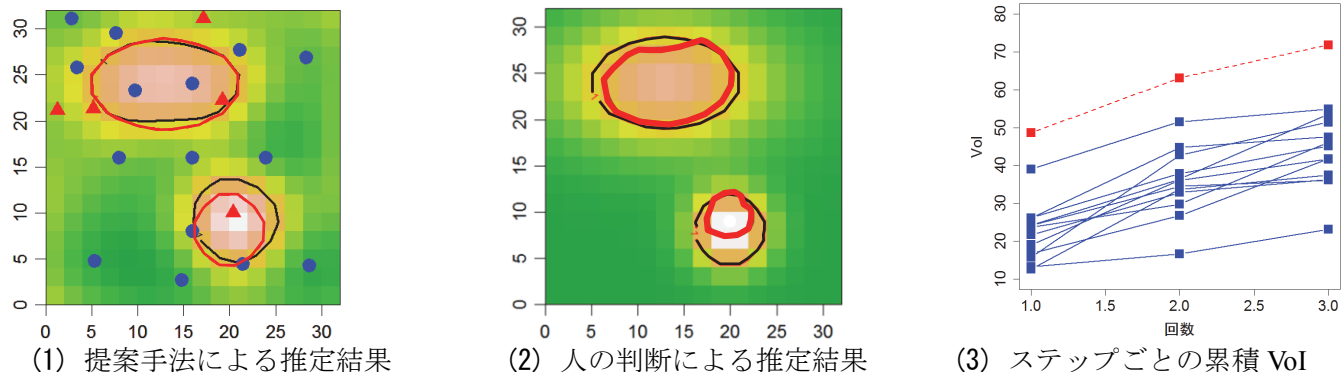


図-1 感覚で決めた汚染源の分布に基づく検討

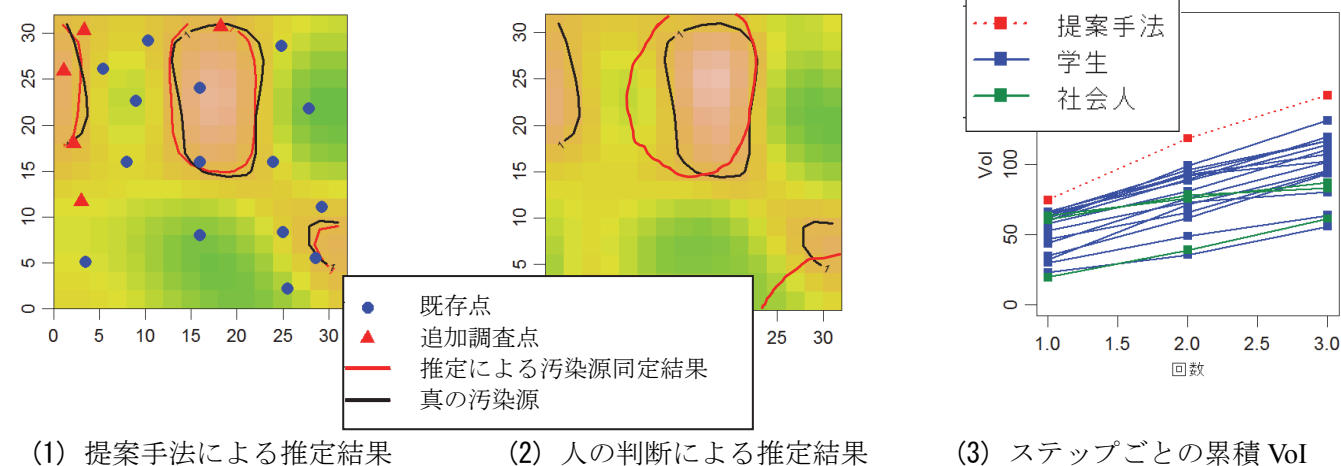


図-2 場のパラメタで発生させた汚染源の分布に基づく検討