

土壌汚染調査を想定した VoI に基づく調査地点の最適配置

東京都市大学都市工学科 学生会員 ○前田 雄矢, 杉山 舜
東京都市大学都市工学科 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

ため池の堤体とは水をせき止めるための堤防であり、ため池の底泥を堤体材料として使用できるように研究が進められているが、底泥にはヒ素が多量に含まれていることがある。ヒ素は有害で対策が必要なため濃度を評価する必要があるが、ため池全面に渡り調査することも効率的ではない。

本研究では、観測情報の価値 Value of Information (VoI) と確率論的空間分布推定手法であるクリギングに基づき、観測点の最適な位置を決め、さらにトータルコストの最小化により最適な観測点数を決める方法について報告する。土壌汚染地域における調査計画に注目し、環境省の基準¹⁾と同様のおよそ1000m²の正方形領域を対象として、情報の価値 VoI を用いて最適な観測点の配置の検討を行った例について報告する。目的関数 (VoI の絶対値) を最小にする配置の探索では粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization, PSO) を用いた。

2. 情報の価値 VoI に基づく最適配置計画の概要

ある評価領域内において評価値 x が基準値 x_0 よりも大きいかなんかを判断する問題を考える。例として、土壌中の有害物質の濃度 x を限られた観測点の情報からクリギングなどを用いて推定し、土壌汚染問題を対象として、推定した有害物質の濃度がある基準値よりも小さければ一般土、以上であれば産業廃棄物として廃棄する問題を対象とする。

VoI (Value of Information) とは情報の価値を定量化する考え方で、意思決定理論のひとつとして利用されていて、不確定性のもとで合理的意思決定を行うための指標であり、情報が与えられる場合と与えられない場合の utility や貨幣価値換算した便益や損失の差分を意味する。本研究では観測配置に対する目的関数として利用する。

VoI と確率論に基づく逆解析やクリギングを組み合わせることにより、幅広い問題に適用することができるが、VoI の計算は一般に解析的には行うことができず、MCS のような数値解析手法が必要になる。しかし、提案手法では空間分布推定手法クリギングと VoI の組み合わせ、1次元の数値積分だけで MCS などの計算時間を要する手法を必要としない点が大きな利点となっている。VoI は情報が得られることによるリスク削減量の期待値と解釈できるため、観測に必要なコストとの総和を考えることで多目的最適化問題ではなく、一つの目的関数の最適化問題として定式化することができる。そのため、観測点位置だけでなく点数も最適化することができる点も大きな特徴である。

3. 解析条件の概要

環境省の資料¹⁾を参考に 32m×32m の正方形の領域を対象として検討を行った。3点の既往の調査による情報があると仮定して最適な追加調査地点の検討を行った。

観測点最適配置問題として確率場の平均値、標準偏差は 0.2, 0.05, 観測量誤差の標準偏差は 0.01 とした。自己相関距離は 7.0m とした。判断のための基準 x_0 は 0.3, 判断ミスのペナルティ C_1, C_2 は 10.0, 2.0 とした。自己相関距離=5.0, 7.0, 10.0 の3種類で感度解析を行った。

4. 追加観測地点数とトータルコストの関係

トータルコストは情報の価値 VoI と観測に必要なコストの和として算定する²⁾。1つの観測点に必要なコストを 1.5 と設定し、追加観測点 1 点から 6 点までについて VoI の絶対値が最大になるように最適な追加の観測点配置を求めた。これらの配置は VoI を目的関数とした最適化問題の PSO による解として求めた。

キーワード : VoI クリギング 最適配置 トータルコスト

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-2 8-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104

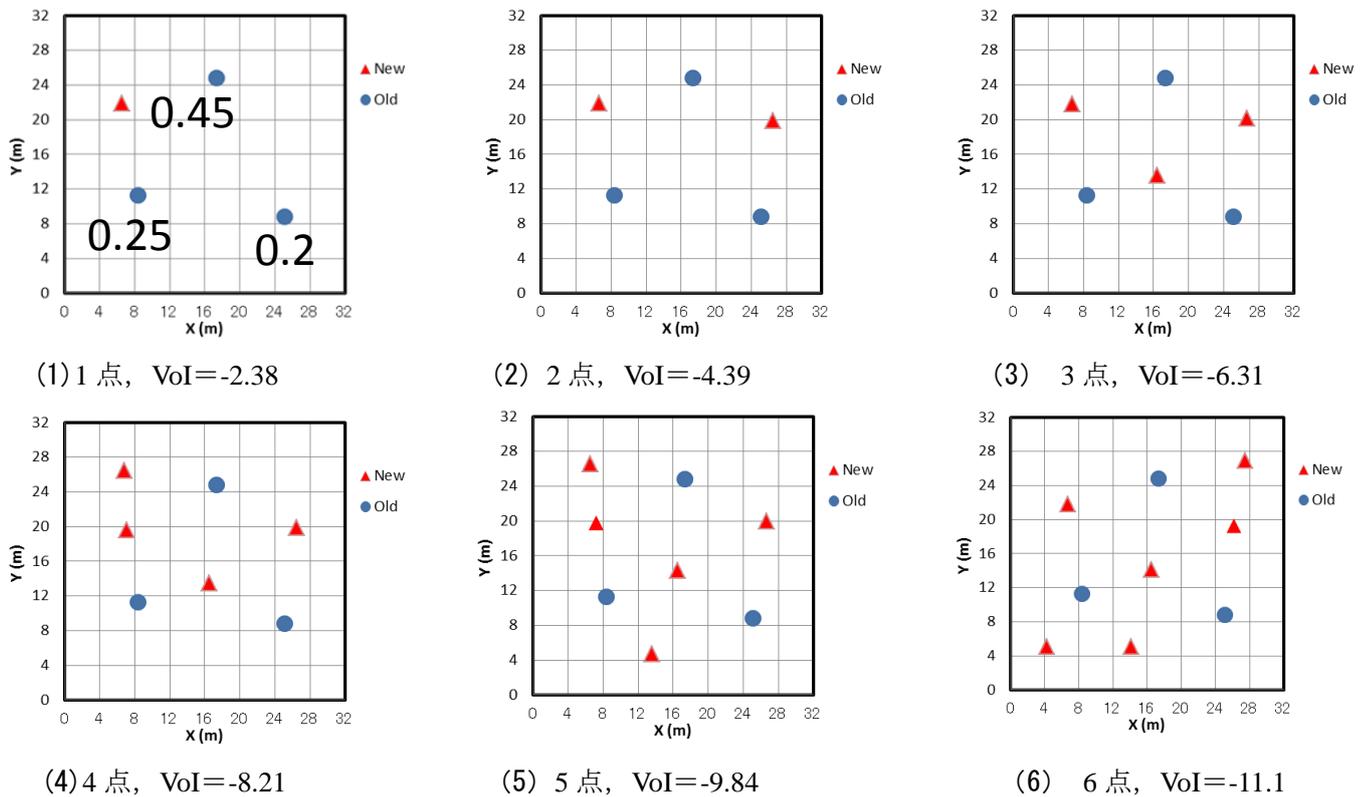


図-1 既存の観測点が存在する場合の追加調査の最適配置

3点の既往の観測情報がある場合について、追加観測点が1点から6点の場合について図-1に示す。推定値が基準値 0.3 付近で判断ミスが起きやすいために既往の調査地点 0.45, 0.25 付近に追加調査地点 1点の場合の最適点が求められている。追加調査地点数が増えると既存の調査地点の間を埋めるように追加点が決められている。

図-2に追加観測点数とトータルコストの関係を示す。観測点数が増加すると VoI は小さくなり、その絶対値は大きくなる。すなわちリスク削減幅の期待値は観測を増やせば増やすほど大きくなる。その関係は線形ではなく下に凸の曲線であり、観測点を増やす価値が徐々に小さくなることを示している。今回の自己相関距離が 7.0m の条件では追加点数 5 点が最適な追加点数となった。不確定性の大きさに基づく既往の方法では、このように得られた観測の値も考慮して最適な観測点を決めることはできない。

5. まとめ

環境省が定めている土壌汚染地域の調査条件を参考に問題設定を行い、情報の価値 VoI に基づき追加観測点に関する 2次元の最適配置の例を示し、トータルコストを考えることで、最適な観測点数を決め

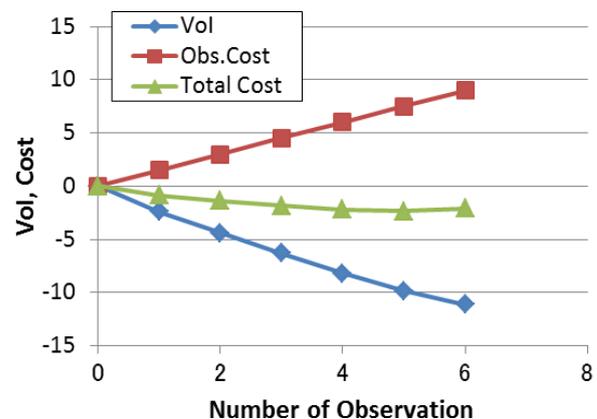


図-2 観測点数とトータルコストの関係

ることができることを示した。今後は、実測値である既存のヒ素濃度値からランダムに抽出した場合の最適サンプリング地点の検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 環境省:土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果, 2011. <http://www.env.go.jp/water/report/h25-01/index.html>, 2013.10.18. 閲覧
- 2) 吉田ら:情報の価値 Value of Information に基づく最適な観測点位置および箇所数の評価方法, 土木学会論文集 A2, Vol. 71, No. 1, p. 1-13, 2015.