

情報の価値 VoI を用いた追加観測点の最適 2 次元配置

東京都市大学大学院工学研究科 学生会員 ○杉山 舜
東京都市大学 正会員 吉田郁政

1. はじめに

観測や計測の空間的あるいは時間的な最適配置、観測点数や頻度の決め方などについていくつかの研究は報告されているものの十分な検討が行われていたとは言い難い。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。土壤汚染地域における調査計画に注目し、環境省の基準と同様の 1000m^2 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 よりも大きいかな否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、土壤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 $32\text{m} \times 32\text{m}$ の正方形の領域を対象として検討を行った。領域の大きさは米田ら²⁾によって検討されている土壤汚染を対象とした最適な調査計画の問題とほぼ同様で、3 点の既往の観測情報がある場合の解析を行った。

観測点最適配置問題として確率場の平均値、標準偏差は 1.0, 0.5, 自己相関距離=10.0, 観測量誤差の標準偏差は 0.1 とした。判断のための基準 x_0 は 2.0, 判断ミスのパナルティー C_1, C_2 は 10.0, 2.0 とした。

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³⁾。1 つの観測点にかかるコストを 20 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。

3 点の既往の観測情報がある場合について、既往の観測点での値に関する 6 ケース (パターン A~F) を図-1 に示す。同図には 2 点を追加する場合の最適な位置もあわせて示してある。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

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

求めた。パターン E の場合についての追加点数 3 点と 4 点の最適配置を図-2 に示す。判断のための基準 x_0 は 2.0 であることから、観測された数値が判断基準値に近い既往の観測点である 2.2 と 1.8 の観測点を重視して追加の観測点が決まる傾向がみられる。

図-3 に全パターンについて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となっている。つまり、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。ただし、汚染濃度が基準値から離れている場合は VoI の絶対値の変化が小さく、観測を増やしても効果が低くリスクの削減量が小さいため、図-3 のパターン A~C のように右上がりの直線に近い曲線となっている。これらのケースでは観測コストに見合うリスク削減量が得られないため追加調査をする必要性がないことを意味する。パターン D, E では追加点数が 3 点、パター

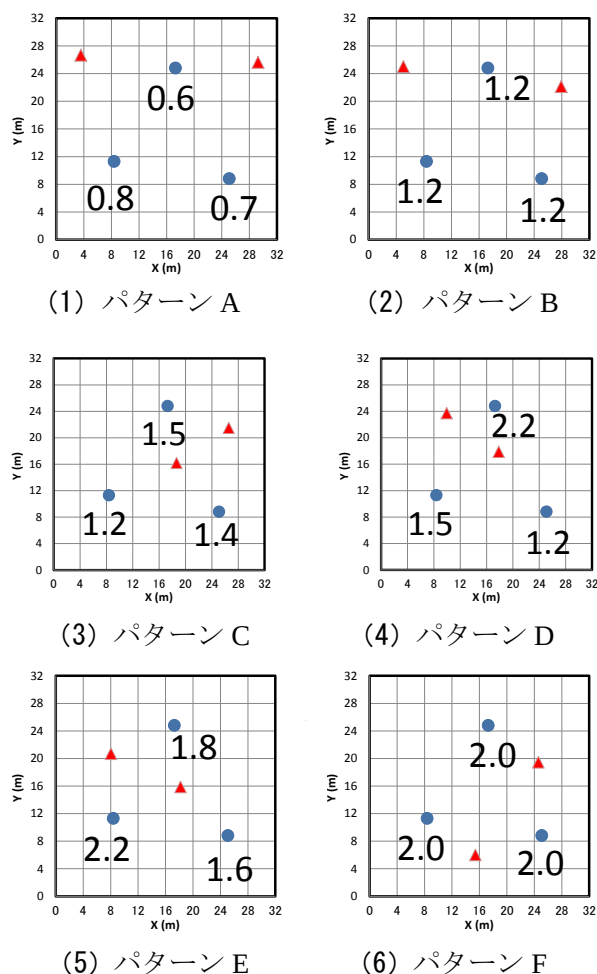


図-1 汚染濃度を変えた観測点の最適配置 (2 点)

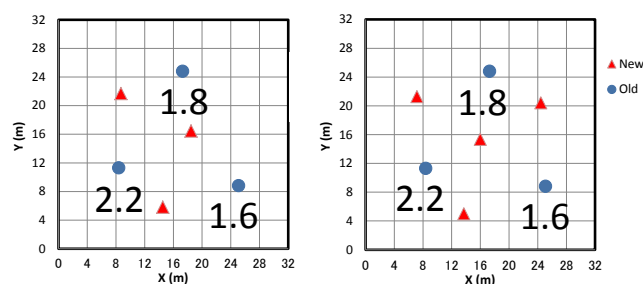
ン F では追加点数が 4 点のときに最適な追加点数となった。不確定性の大きさに基づく既往の方法では、このように得られた観測の値も考慮して最適な観測点を決めることはできない。

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 (Value of Information) 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た。VoI は期待リスク削減量を表すことから観測に必要となるコストとのトータルコストを考えることで、最適な観測点数を決めることができることを、数値解析例を通して示した。

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) 米田ら: 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, No.622/VII-II, pp.51-58, 1998.
- 3) 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 (掲載決定), 2015 .



(1) 3 点の最適配置 (2) 4 点の最適配置
図-2 パターン E の最適配置の例

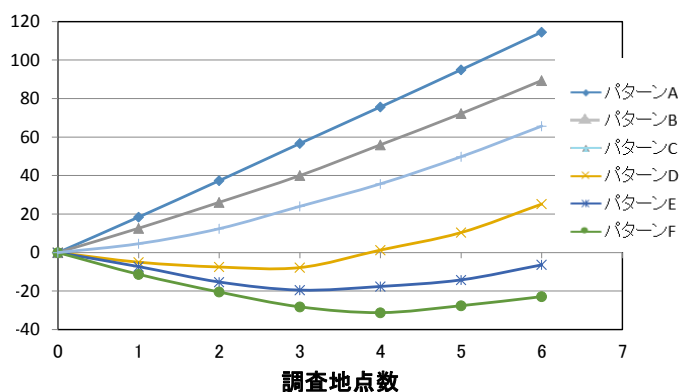


図-3 既存の観測点がある場合のトータルコスト