



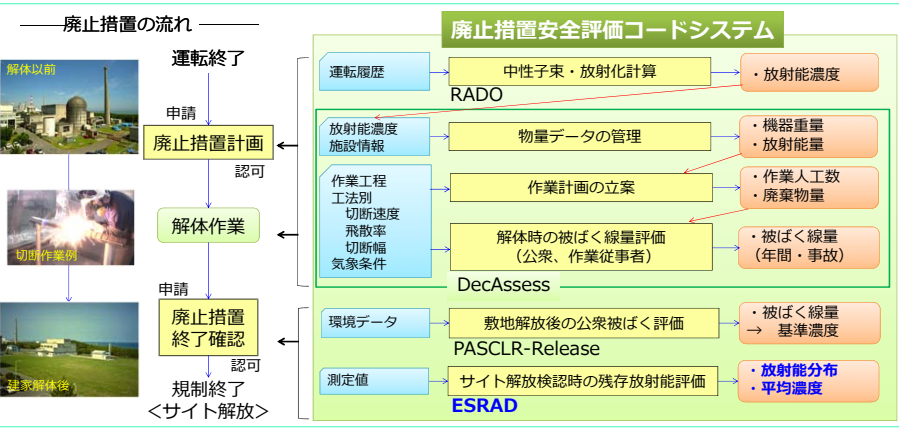
サイト解放検認支援のための放射能分布推定プログラム ESRADの開発

日本原子力研究開発機構 安全研究センター
島田太郎、石神努、関優哉、向井雅之

はじめに

原子力機構安全研究センターでは、原子力施設廃止措置における計画からサイト解放までの各段階に対し、規制の観点から注視すべき項目などを評価する廃止措置安全評価コードシステムの整備を進めている。

現在、わが国ではこのサイト解放に関する具体的な基準や手順（サイト解放検認）は確立していないが、サイト解放の際、敷地に有意な放射性物質が残存していないことを確認する必要がある。本システムのなかで、サイト解放検認時に測定された数少ない地点における濃度データから領域全体の放射能濃度分布などを推定するESRADについて、その主な機能と解析事例を紹介する。また、活用事例として、測定点数が必要最低限に達しなかった場合に、追加で測定すべき効果的な地点を選定する方法の一例を示す。



放射能分布推定プログラムESRADの概要

地球統計学的手法クリギングに基づき領域内での数少ない測定点数の濃度から空間的相関を考慮して領域全体の濃度分布を推定する計算プログラム。

クリギングとは

- 数少ない地点での測定濃度から非測定点での濃度を補間法で推定 → 非測定点の濃度を測定濃度の1次結合で近似

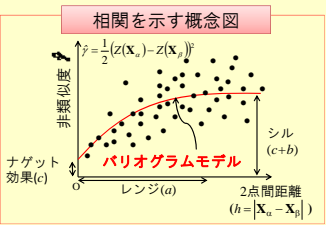
$$Z^*(x_j) = \sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} Z(x_{\alpha})$$

- 測定濃度を基に2点間の相関を考慮して重み係数を決定

$$\sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} = 1 \text{ の条件下で真値と推定値の差の分散: } \text{var}(Z^*(x_j) - Z(x_j)) \text{ を最小化}$$

$$\sum_{\beta=1}^n w_{\beta} \gamma(x_{\alpha} - x_{\beta}) + \mu = \gamma(x_{\alpha} - x_i) \quad (\alpha = 1, 2, \dots, n)$$

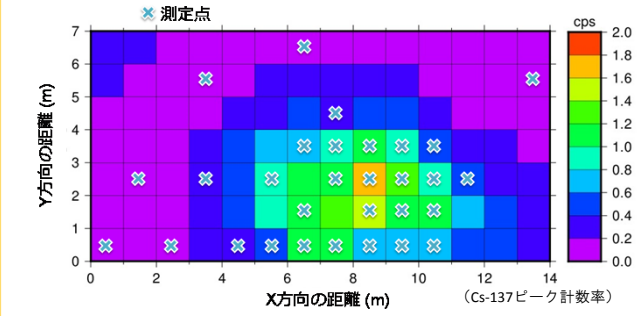
μ: ラグランジュの未定乗数
γ: 相関を特徴づける量 (バリオグラム)



- 推定結果の推定分散 σ_i^2 を算出 $\sigma_i^2 = \mu + \sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha} \gamma(x_{\alpha} - x_i)$
- 推定値とともにその不確かさ情報を提供

適用例

30点の測定データ（高計数率領域を重点的に測定）から他の68点の計数率を推定。



分布を考慮した平均濃度の推定 (平均クリギング)

サイト解放の基準濃度と比較する場合、対象領域の平均濃度を算出する必要がある。ESRADでは平均クリギングにより、空間的相関を考慮して、領域全体の平均濃度を推定することが可能。推定平均値に対する分散もあわせて算出。

$$\text{推定平均: } \bar{z}_n^* = \frac{1}{N} \sum_{\alpha=1}^N w_{\alpha} z(x_{\alpha})$$

N: 測定点を含む領域内の推定点数
n: 測定点数

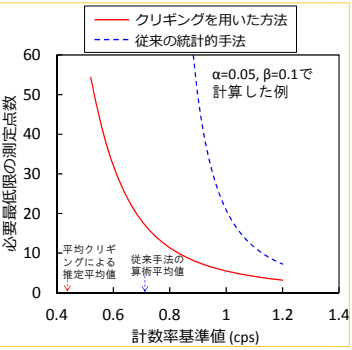
$$\text{推定分散: } \sigma_n^2 = \frac{1}{N} \sum_{\alpha=1}^N w_{\alpha}^2 + \frac{1}{N^2} \sum_{\alpha=1}^N \sum_{\beta=1}^N w_{\alpha} w_{\beta} \gamma(x_{\alpha} - x_{\beta}) - \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \gamma(x_i - x_j)$$

上記適用例の場合、測定点だけの算術平均計数率は0.71cpsで、空間的相関を考慮した推定平均計数率は0.43cpsとなる。

必要最低限の測定点数の算出

推定平均濃度には不確かさが含まれており、この不確かさにより、第I種の過誤（基準濃度を超過しているのに超過していないと判定すること：過誤率α）が発生する。この不確かさを測定点数の関数とした計算式を導出。

計数率基準値が小さくなると、基準値以下であることを満足させるためには、必要最低限の測定点数は増加する。従来手法より必要測定点数が低減。



まとめ

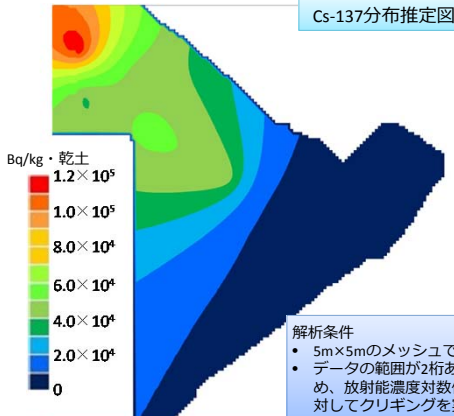
サイト解放検認に必要な空間的相関を考慮した放射能濃度分布を推定するプログラムESRADを整備した。分布を反映した平均濃度とその不確かさを算出するとともに、所与の過誤率に基づいて、基準濃度を満足する必要最低限の測定点数を求めることが可能となった。本プログラム整備及び得られた知見は、将来わが国のサイト解放に係る基準整備に貢献するものである。

活用事例

Tsutsumo Ishigami & Taro Shimada (2015): Study on application of kriging to evaluation of radioactivity concentration for ensuring compliance with the criterion of site release, Journal of Nuclear Science and Technology, DOI:10.1080/00223131.2014.1001458

1F港湾内海底土Cs-137濃度分布の推定と追加測定点の選定

公表データに基づき、港湾内の濃度分布を推定するとともに、仮に必要な最低限の測定点数に達せず、追加で測定することを想定した場合に効果的な測定点を選定した例を示す。



追加測定点の選定例

単に不確かさの大きな地点よりも、濃度分布の推定精度を向上させるために、推定濃度が高く、かつ、不確かさの大きい地点の追加測定を行うことが効果的 → Bの方が不確かさ自体は大きい、分布推定への寄与が大きい高濃度地点Aを優先的に選択

