土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）

Ⅶ－34

土壌汚染概況調査における５地点混合方式の統計的性質

京都大学工学研究科　正会員　米田　稔
京都大学工学研究科　フェロー　森澤　眞輔

１．はじめに

土壌汚染の概況調査における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地点で行い、混合することとなっている[1]。本研究ではこの５地点混合方式による測定値の代表性について検討するため、1000m²の面積全体での平均濃度を、５地点混合方式で推定した場合の推定誤差を理論的に求めるとともに、最適な試料採取地点の配置について検討する。

２．仮定した条件

広大な領域の概況調査を行う場合、濃度分布などに関する事前情報が無い場合には、領域全体を均等な正方形領域に分割しようとするのは妥当と考えられる。ここでは約1000m²の領域として一辺31.6mの正方形領域を考え、この領域での土壌汚染平均濃度を５地点混合方式で推定するものとする。この正方形領域の各辺がそれぞれ東西南北方向に平行しているとすると、５地点混合方式の試料採取地点は、図１の白丸で示した５地点に配置される。図１において中心以外の４地点は、それぞれ中心から等距離R(m)離れた所にとるものとする。

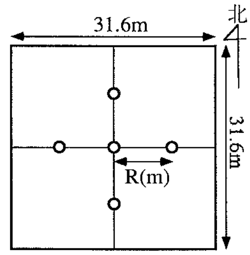

図１　５地点混合方式での試料採取地点の配置

３．推定分散の評価

$Z(x)$を水平２次元空間で分布する確率変数とする。ここでxは２次元座標を表すベクトルである。今$Z(x)$に統計的弱定常性と等方性を仮定する。つまり$Z(x)$の期待値mは場所によって変化せず、２地点x_1とx_2での$Z(x)$の値$Z(x_1)$, $Z(x_2)$の共分散は、x_1, x_2間の距離hのみの関数$C(h)$とする。Z_Kを$Z(x_{K,i})$ $(i=1,2,\cdots,k)$のk個の地点での算術平均、Z_Nを$Z(x_{N,j})$ $(j=1,2,\cdots,n)$のn個の地点での算術平均とすると、Z_KをZ_Nで推定する場合、Z_NとZ_Kの期待値は共にmであるからZ_NはZ_Kの不偏推定量である。今、$Z(x_{K,i})$ $(i=1,2,\cdots,k)$は領域全体に均等に分布しているとし、$k\to\infty$の極限を考えると、Z_Kは領域全体Sでの空間平均と考えることができ、Z_KをZ_Nで推定する場合の推定分散σ_E^2は次式のようになる[2]。

$$\sigma_E^2 = E\left[\left(Z_K - Z_N\right)^2\right] = \frac{1}{S^2}\int_S dx\int_S C\left(\left|x - x'\right|\right)dx' + \frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C\left(\left|x_{N,i} - x_{N,j}\right|\right) - \frac{2}{nS}\sum_{i=1}^{n}\int_S C\left(\left|x - x_{N,i}\right|\right)dx \qquad (1)$$

ここで$E[\ ]$は期待値操作、$\left|x_{N,i} - x_{N,j}\right|$は$x_{N,i}$, $x_{N,j}$間の距離、各積分は２次元空間での積分を表す。(1)式で表されるσ_E^2が、５地点混合方式の場合のように、領域全体での空間平均値を有限個の観測値の平均値で推定した場合の推定分散となる。

４．指数型共分散関数の場合の推定分散の性質

共分散関数$C(h)$の関数形としては、正定値性の条件[3]を満たすならば様々なものが考え得るが、ここでは代表的なものとして、次式の指数型共分散関数を仮定する。

$$C(h) = \sigma^2 \exp\left(-\frac{h}{L}\right) \qquad (2)$$

ここでσ^2は分散で一定値、Lは相関の強さを示す相関スケールという定数である。

５地点混合方式では図１のRの値として５～10mを推奨している。今、Rの値と

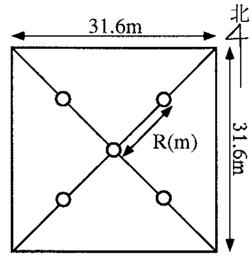

図４　対角線上への試料採取地点の配置

キーワード：土壌汚染，５地点混合方式，試料採取地点配置，推定分散，遺伝アルゴリズム
連絡先：京都市左京区吉田本町・Tel.075-753-5156・Fax.075-753-5066

Lの値を変えた場合の推定分散の変化を見るため、Rの値を 5, 7.5, 10, 13, 15 mとした場合の(1)式から計算した推定分散の変化を、Lの関数として図2に示す。ただし$\sigma^2=1$と仮定している。図2より、相関スケールのほとんどの場合においてR=5～10mよりR=13mの場合の方が、推定分散が小さいことがわかる。図3に相関スケール の値が3, 7, 15, 30, 60, 100, 200 mの場合の推定分散の変化を、Rの関数として示す。L=3mの場合はR=11m、他の全てのLの値においては、R=12～13 m付近に推定分散の最小値があることがわかる。よって5地点混合方式におけるRの値としては、推奨されている5～10mよりも、12～13m程度の値を採用した方が良いと考えられる。

5．5地点混合方式における最適試料採取地点の選択

図1の正方形領域について、推定分散を最小にする5個の試料採取地点の選択方法について検討した。まず、この領域を一辺0.5mの正方形領域に分割し、合計63x63=3969個の節点を試料採取地点の候補地点として、遺伝アルゴリズム[4)]を用いて、(1)式の推定分散を最小にする5地点の組み合わせを求めてみた。共分散関数として(2)式を仮定し、相関スケール3, 15, 60mの場合について解析した結果、どの場合でもほぼ中心に1点、対角線上の対称な位置に残りの4点が配置される傾向が見られた。図4に示すように試料採取地点を配置し、相関スケールを変えた場合の推定分散の変化を、距離Rの関数として図5に示す。図5より全ての相関スケールにおいて、最適となるRの値は12.5～13.5mぐらいの距離であることがわかる。よって5地点混合方式における試料採取地点は、図4のように配置し、R=13mほどに取るのが最適であると考えられる。

6．結論

本研究では土壌汚染の概況調査において、5地点混合方式で得られる測定値の統計的性質について考察した。場の統計的性質として弱定常性と等方性を仮定し、指数型共分散関数を仮定した。正方形領域について遺伝アルゴリズムなどを用いた解析の結果、推定分散を最小にするという点では、推奨されているように中心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地点ずつとるより、対角線上に中心から13m程度離れた地点にとる方が良いという結論を得た。

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) A.G.Journel & CH.J.Huijbregts: Mining Geostatistics, p.54, Academic Press, 1978
3) 同上, p.35
4) (例えば) L.デービス編「遺伝アルゴリズムハンドブック」森北出版, 1994

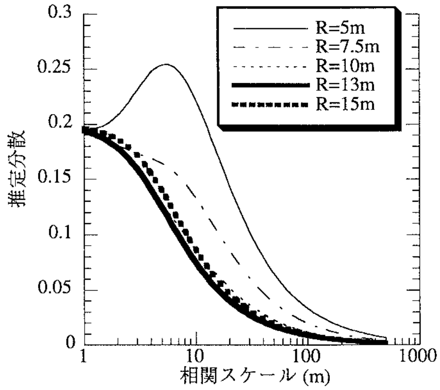

図2　Rごとの、相関スケールの関数としての推定分散の変化

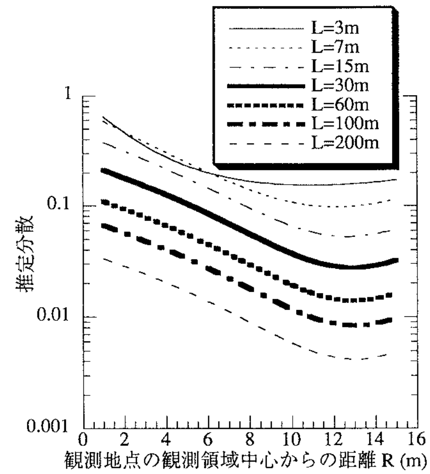

図3　相関スケールごとの、Rの関数としての推定分散の変化

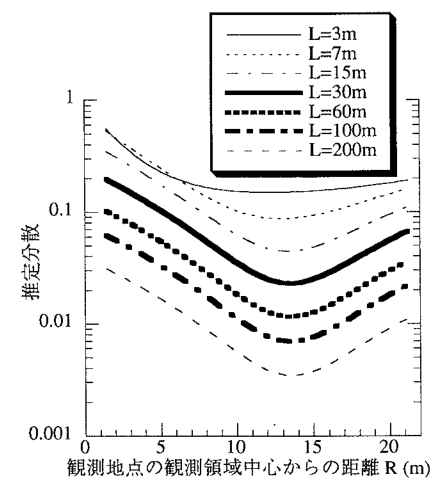

図5　対角線上に試料採取地点を配置した場合の推定分散の変化