

## 地盤統計学を利用した地盤沈下マップにおける観測点追加による効果の検討

茨城大学 学生会員 ○鈴木久美子  
 茨城大学 正会員 村上 哲  
 茨城大学 フェロー 安原 一哉  
 茨城大学 正会員 小峯 秀雄

### 1. はじめに

関東平野北部地域では、広域的な地盤沈下が生じており、今後も2～3cm程度進行していくことが予測されている。広域的な地盤沈下は地下水の揚水によって生じるため、面的な情報を利用した、広範囲にわたる地盤沈下の監視が有効となる。著者らは各観測地点で収集された地盤沈下量を、地盤統計学を用い空間分布推定を行ってきた。また、標準偏差を同時に表示することでどれほどの誤差を含む結果であるのかという信頼性の評価も行っている。

観測地点の配置は、従来の地盤沈下の激しい地域を重点的に行われているため、現在、または将来に地盤沈下が進行していくと予想される地域には十分に配置されているとは限らない。このため、本研究では、沈下量の大きさが比較的大きく推定されているにもかかわらず、標準偏差が大きく精度の低い地域に、観測地点を追加することを想定し、観測点の追加が地盤沈下マップの推定精度にどのような影響を与えるのかについて検討を行ったものである。



図1 対象領域と地盤沈下量観測点

### 2. 地盤統計学を用いた観測点追加による効果の検討法

空間的に分布するある量について、既知データから未知の量を推定する方法の1つに地盤統計学にもとづくクリギングによる推定手法がある。クリギングによる推定値  $\hat{Z}(\mathbf{r}_0)$  は既知データ  $\mathbf{Z}(\mathbf{r})$  の加重平均線形和として次式で表される。

$$\hat{Z}(\mathbf{r}_0) = \lambda^T \mathbf{Z}(\mathbf{r}) \quad \dots(2-1)$$

ここに、 $\lambda$  は、重み係数ベクトルである。今、期待値と分散の既知であるデータが与えられている場合、クリギングによる最もよい推定が推定誤差分散を最小化すると考え、重み係数は次の連立方程式の解として与えられる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1}^T & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \lambda \\ \mu \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \gamma_0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \dots(2-2)$$

ここに、 $\mathbf{\Gamma}$  は観測データ間の空間相関を表すマトリクス、 $\gamma_0$  は推定地点と既知データ点の空間相関を表すベクトルであり、 $\mu$  はラグランジェ乗数である。また、推定値の推定誤差分散は次式で求められる。

$$\hat{\sigma}^2(\mathbf{r}_0) = \text{Var}[Z(\mathbf{r}_0)] + 2\lambda^T \gamma_0 - \lambda^T \mathbf{\Gamma} \lambda \quad \dots(2-3)$$

ここで、注目すべき点は、式(2-2)の重み係数  $\lambda$  は地盤沈下量の空間相関に依存し、地盤沈下量の大きさそのものに依存しないこと、推定誤差の値  $\hat{\sigma}^2(\mathbf{r}_0)$  もまた、地盤沈下量の大きさとは無関係に得られることである。したがって、地盤沈下量の空間変動特性が観測点追加により変化を受けないと仮定できれば、観測点を追加することを想定した場合に描かれるマップの推定誤差分布を描くことができ、これにより観測点追加による効果を評価することができる。

キーワード 広域地盤沈下, 空間分布推定, 地盤統計学, 信頼性

: 連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL 0294-38-5174

### 3. 関東平野北部の地盤沈下地域への適用

対象地域は、図-1に示した関東平野北部の広域地盤沈下地域である。この地域において1996年から2000年までの5年間、総数946地点の経年的に観測された地盤沈下量を用いて解析を行った。まず、年度毎に観測された地盤沈下量のデータを5年間の累積沈下量として求めた。次に、セミバリオグラムを算出し、空間相関のモデリングを行った。空間相関のモデルには、球型モデルを用いている。詳細は参考文献3)を参照いただきたい。そして、2.で述べたクリギングによる空間補間法により地盤沈下量の推定値と推定誤差分散の平方根で与えられる推定標準偏差の空間分布を算出した。このようにして、現在得られている観測データから推定した地盤沈下量の分布を図-2に示す。

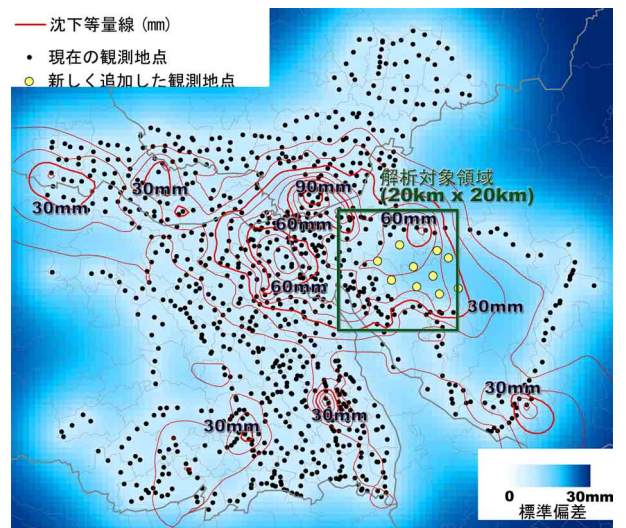


図2 解析対象領域の位置

図-2を見ると、観測点近傍における推定精度はそうでない地域と比較して良いことが認められる。しかしながら、図-2において、茨城県西部に位置する四角で囲んだ地域では、沈下量が30mm～60mmの範囲にあるものの観測地点が疎であるため標準偏差の値は比較的大きい。このため、このマップを用いて地盤沈下対応策を講じる場合には、注意を要する。そこで、この地域を観測点の追加による効果を検討するための解析対象領域とし、新規に10地点を図に示した位置に追加することを想定したシミュレーションを実施し、観測点追加による推定誤差の変化を調べた結果が図-3と図-4である。両図を比較すると観測点の追加により空間分布の推定精度が領域全体で向上していることが分かる。

### 4. 結論

本研究は、観測地点の追加により、標準偏差にどのような影響を与えるのかについて解析を行ったものである。

得られた知見は以下の通りである。

- 1) 観測点の追加により、空間的に推定される標準偏差は変化する。
- 2) 地盤沈下量が大きく、かつ標準偏差が大きく表れた地域に、任意に観測点を追加し解析を行うことで、実際に観測地点を設置する前に、その地域に観測地点を設けることでどの程度の効果が得られるのかを把握することができるため、観測点の増設計画に援用できる。
- 3) 事前に観測点を想定して、精度の分析を行うことで、より効果的な観測点の配置計画に援用ができる。

### 参考文献

- 1) Murakami,S., Yasuhara,K., and Mochizuki,N. : An Observational Prediction of Land Subsidence for a GIS-aided Monitoring System of Groundwater Level,, Lowland Technology International Vol.4 No.1, pp.46-61, 2002.
- 2) 間瀬茂,武田純 : クリギングー地球統計学,データサイエンス⑦ 空間データモデリングー空間統計学の応用,共立出版株式会社, pp.135-166, 2001.
- 3) 鈴木久美子,村上哲,安原一哉,小峯秀雄 : 地盤沈下地域におけるセミバリオグラムを用いた地盤沈下量の空間相関,第38回地盤工学研究発表会講演集, pp.169-170, 2003.
- 4) 鈴木久美子,村上哲,安原一哉,小峯秀雄 : 広域地盤沈下地域における地盤沈下量の信頼性を考慮した空間分布推定 : 第58回土木学会年次学術講演会, pp.497-498, 2003.

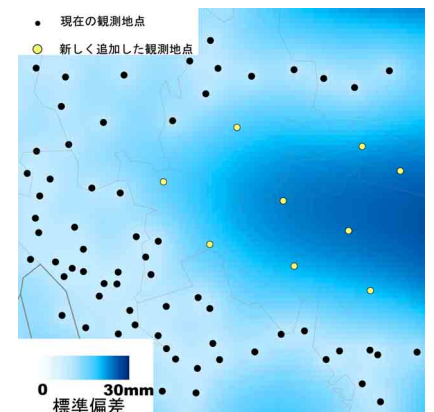


図4 茨城県西部の拡大図  
(観測点の追加前)

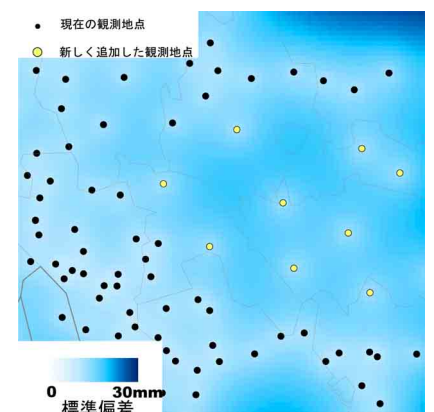


図5 茨城県西部の拡大図  
(観測点の追加後)