B22

時空間地球統計学を用いた水文データ補間分布推定手法

Distribution Estimation Method for Interpolation of Hydrological Data via Spatiotemporal Geostatistics

○ 浜 口 俊 雄・佐 藤 嘉 展・小 尻 利 治
○ Toshio Hamaguchi, Yoshinobu Sato, Toshiharu Kojiri

This study presents a newly developed method for estimation of hydrological distributions in space and time based on observed data. To extend spatial estimates into spatiotemporal ones, a conversion parameter of temporal-distance is newly defined and introduced into the kriging equations using the trend and covariance functions. This parameter equivalently converts a temporal gap into a spatial distance in the time-related terms of those functions. In the case of topological space in one dimension, the above approach is most effective and helpful to krig a hydrological distribution. It can be shown that the developed method of kriging estimation in space and time with a conversion parameter defined newly is useful and applicable to a spatiotemporal interpolation problem through the numerical tests.

1. 序論

所与の気象観測データあるいは水文観測データは水文再現時に入力データまたは再現検証として用いられる．ゆえにそれらの空間分布と時間変化は重要である．従来の入力時は，Voronoi分割で定めた多角形有効域毎に観測値/代表値が一様であると見なして与えるThiesen法，または，距離の逆数から定めた重みを乗じた観測値の和で空間補間的に各格子セル毎の値を算出する距離逆数法を採用していることが多い．しかし前者は概して粗く不連続な階段状の分布となる点，後者は観測値の影響が距離に反比例することの理論的根拠が必ずしもないという点に問題がある．さらに後者は，比較的細かい分布を扱う際に，降水量のようなゼロ領域を部分的に有する空間変量に対しても連続かつ滑らかな空間分布を全域に算出し，望まない不都合な結果を生じてしまうこともある．

筆者らは水文モデルパラメータ分布について，空間分布として同定[1)]あるいはアップスケール時の等価化[2)]に関する手法を各々提案してきた．ただし，これらはパラメータがモデル定数のため，時間に依存しない分布を扱っていた．本研究では，時間変動を伴う空間分布を推定補間対象に考えるため，従来，空間補間を目的としている地球統計学のkrigingを時間方向にも拡張し，時空間分布を推定するための新たなkrigingを提案する．

2. 時空間のトレンド関数・共分散関数

krigingでは，式(1)の様に対象変量をトレンド成分とランダム成分に分解し，ランダム成分の定常性を確保する．両成分を時空間関数形に変更し，時空間対応型に拡張する．トレンド関数$m(\boldsymbol{z},t)$は式(2)の様な多項式を与える．次にランダム成分は，その相関式において観測データ間の相関距離が重要となる．ただし，時間と空間は異なる性質の座標変数で表されるため，同一空間内で計量し得る場合は位相空間で考える必要がある．いま時間距離1(単位時間)に匹敵する空間距離を$\beta(>0)$と置き，時間距離換算パラメータと呼ぶことにする．位相一次元距離で相関関係を考える際は式(3)〜(5)の様な共分散関数を用意すればよい．位相二次元では空間・時間別に一次元相関距離を考えるため，式(6),(7)の様な共分散関数でよい．同様に位相三次元では式(8),(9)の様な関数になる．位相二・三次元共分散関数では換算時間相関長さa_tにβが含まれたかたちのため，βを直接同定せずに考えれられる．同様に，トレンド関数$m(\boldsymbol{z},t)$においてもb_4にはβが含まれた係数と見なせる．ところで，kriging推定値は重み付け観測値の総和に帰着する．従来はその重みを時間毎に求めていたため，実質的に重みが時間依存となっていた．本手法では時間に依存しない定数のため，一度得られた重みは将来計算にも使え，降雨量のGCM出力に対するダウンスケール時の分布再現にも利用可能と期待される．

$$\phi(\boldsymbol{z},t)=m(\boldsymbol{z},t)+w(\boldsymbol{z},t) \quad (\boldsymbol{z}：空間座標,\ t：時間) \tag{1}$$

$$m(\boldsymbol{z},t)=b_1+b_2x+b_3y+b_4t \quad (b_i：係数) \tag{2}$$

・位相一次元指数型　：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left\{-\frac{d_r}{a_r}\right\} \tag{3}$$

・位相一次元ガウス型：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left\{-\left(\frac{d_r}{a_r}\right)^2\right\} \tag{4}$$

・位相一次元球状型　：

$$C(\boldsymbol{d})=\begin{cases}\sigma^2\left\{1-1.5\left(\dfrac{d_r}{a_r}\right)+0.5\left(\dfrac{d_r}{a_r}\right)^3\right\} & (0\leq d_r\leq a_r)\\ 0 & (d_r>a_r)\end{cases} \tag{5}$$

・位相二次元指数型　：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left\{-\sqrt{\left(\frac{d_\ell}{a_\ell}\right)^2+\left(\frac{d_t}{a_t}\right)^2}\right\} \tag{6}$$

・位相二次元ガウス型：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left[-\left\{\left(\frac{d_\ell}{a_\ell}\right)^2+\left(\frac{d_t}{a_t}\right)^2\right\}\right] \tag{7}$$

・位相三次元指数型　：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left\{-\sqrt{\left(\frac{d_x}{a_x}\right)^2+\left(\frac{d_y}{a_y}\right)^2+\left(\frac{d_t}{a_t}\right)^2}\right\} \tag{8}$$

・位相三次元ガウス型：

$$C(\boldsymbol{d})=\sigma^2\exp\left[-\left\{\left(\frac{d_x}{a_x}\right)^2+\left(\frac{d_y}{a_y}\right)^2+\left(\frac{d_t}{a_t}\right)^2\right\}\right] \tag{9}$$

$$\left(d_r=\sqrt{{d_x}^2+{d_y}^2+(\beta d_t)^2},\ d_\ell=\sqrt{{d_x}^2+{d_y}^2}\right)$$

3. 数値実験

本提案手法の効用について検討すべく，地下水分布を対象とした検討を行った．結果は発表当日に示す．

4. 結論

本研究では，時間距離換算パラメータを提案・導入し，krigingの時空間適用への拡張を試みて良好な推定結果を得た．これより本提案手法は時空間分布推定に際して有用性・応用性に富むことがわかった．

参考文献

1) 浜口俊雄・小尻利治・中北英一：地球統計学的な疑似生成観測値の利用によるパラメータの空間分布同定，京都大学防災研究所年報，第49号B，pp.633–639，2006.　2) 浜口俊雄・小尻利治・Mohamed Saber：均質化理論に基づくアップスケーリングの水文学的適用法，京都大学防災研究所年報，第50号B，pp.759–764，2007.