

RBFN パラメータの違いが CL 作成過程の応答曲面に与える影響の分析

中電技術コンサルタント株式会社 ○池田 寛、秦 雅之、杉原成満、村上智哉、竹田梨夏
国土交通省 国土技術政策総合研究所 瀧口茂隆、大槻聡志

1 はじめに

現在、土砂災害警戒情報の発表基準（以下、CL）は、CL の設定で対象とする土砂災害（以下、対象災害）が発生した発生メッシュと発生しなかった非発生メッシュで設定の考え方が分けられている。

発生メッシュでは、対象災害発生時刻の雨量を捕捉するように CL を設定するが、非発生メッシュでは、様々な CL の設定方法が提案されており、対象災害が発生しなかった降雨の履歴順位を活用して CL を設定する事例が多い。

この降雨の履歴順位を活用した検討では、メッシュが異なっても同じ履歴順位の降雨を捕捉する RBFN 出力値は概ね同等となることが想定されるが、近年の検討結果ではこの RBFN 出力値が広範囲にばらつく事例が散見される。

この原因としては、①履歴順位計算に用いた雨量データの期間が短いこと（経験した強雨が各メッシュでばらつく）、②応答曲面作成で設定する RBFN プログラムのパラメータ（以下、RBFN パラメータ）が全国一律であること（地域の降雨特性に応じた応答曲面が作成できていない）が考えられる。

上記①については、雨量データが蓄積されるまで検証できないことから、上記②に着目し、RBFN パラメータの設定によって各メッシュが経験した降雨の履歴順位と RBFN 出力値が同等となるように調整可能か検討する方針とした。

本稿は、この予備的検討として RBFN パラメータの違いが CL 作成過程の応答曲面に与える影響を分析したものである。

2 応答曲面と RBFN パラメータの関係

応答曲面は、土壌雨量指数と時間雨量の雨量データを RBF ネットワークを用いて解析することで作成される。

この解析の際には RBFN パラメータの設定が必要であり、RBFN パラメータによって応答曲面と雨量データの相関の強弱や応答曲面の歪みの大きさを調整することができる。

応答曲面と雨量データの相関と応答曲面の歪みはトレードオフの関係にあり、現在、国土交通省・気象庁より示されている RBFN パラメータの推奨値¹⁾は、応答曲面に歪みが生じやすい降雨特性を有する地域においても、応答曲面に歪みが発生しないように感度分析を行った上で決定されている。

このため、RBFN パラメータを推奨値とした場合、地域によっては応答曲面の歪みが過剰に抑制され、応答曲面と雨量データの相関が低くなっている可能性がある。

このような状況から、RBFN パラメータのうち、歪みの抑制に係わる正則化パラメータ $\lambda_{\max}$ および応答曲面作成時に $\lambda_{\max}$ を用いて計算される誤差関数 E (式(1)参照)に着目し、 $\lambda_{\max}$ および E を制限することで、歪みを許容範囲内に抑えつつ雨量データとの相関を確保した応答曲面が作成できると考えた。

$$E = \sum_{i=1}^p (y_i - O(x_i))^2 + \sum_{j=1}^m (\lambda_j w_j^2) \cdots \text{式(1)}$$

p : 学習データの個数、 y_i : 教師値、 $O(x_i)$: 出力値、 m : 基底関数の個数、 λ_j : 正則化パラメータ、 w_j : 結合係数

本稿では、このような状況を踏まえ、 $\lambda_{\max}$ 、 E 、応答曲面の歪みの3つの関係を分析した。

3 分析条件

検討地域は、留萌振興局（北海道）、神奈川県、三重県、広島県、鹿児島県の5地域とし、分析対象箇所は、島嶼部を除く検討地域に接する5kmメッシュの中心点とした（5地域で計1,006箇所）。

雨量データの期間は、1995年～2023年（29年間）、2006年～2023年（18年間）の2パターンとした（本稿では1995年～2023年のパターンのみ結果を記載）。

分析ケースは表-1に示すとおりであり、 r_x 、 r_y は応答曲面に歪みが発生する検討ケースが作成できるように推奨値よりも低く設定し、 $\lambda_{\max}$ はパラメータの違いによる応答曲面の変化を分析するために5ケース設定した。

表-1 分析ケース（RBFN パラメータ）

検討ケース	case1	case2	case3	case4	case5
X軸グリッド間隔	5				
Y軸グリッド間隔	1				
基底関数の半径 r_x	50				
基底関数の半径 r_y	25				
正則化パラメータ $\lambda_{\max}$	500	1,000	3,000	5,000	10,000
正則化パラメータ $\lambda_{\min}$	1				

4 応答曲面の歪みの計算方法

応答曲面（等 RBFN 出力値線）の歪みは、最大曲率および X 軸方向の平均誤差率（以下、平均誤差率）により評価した。

曲率は、等 RBFN 出力値線における曲率算出点と曲率算出点から X 軸方向 $\pm 5\text{mm}$ の計3点を通過する2次関数の近似曲線 $f(x)$ を算定（図-1参照）し、式(2)により算出した。

$$\text{曲率} = \frac{f''(x)}{\{1 + f'(x)^2\}^{3/2}} \cdots \text{式(2)}$$

この計算を時間雨量最大値の座標（ $SWI_{\min}$ 、 $R_{\max}$ ）から土壌雨量指数最大値の座標（ $SWI_{\max}$ 、 $R_{\min}$ ）まで実施し、算出した曲率の最大値を最大曲率とした。

平均誤差率は、理想的な CL を図-2に示す楕円形の曲線と仮定し、楕円形の曲線と等 RBFN 出力値線における X 軸方向誤差絶対値の平均値を土壌雨量指数最大値 $SWI_{\max}$ で除した値とした。

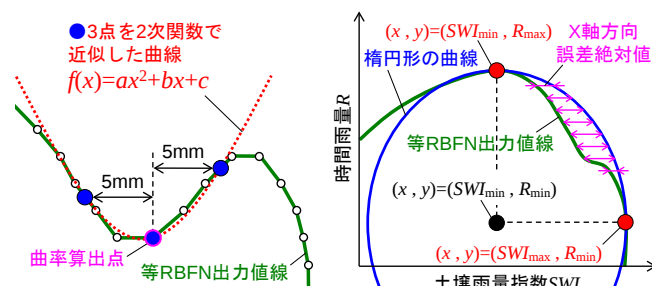


図-1 曲率算出における2次関数の近似曲線の設定

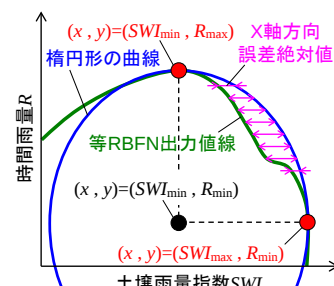


図-2 楕円形の曲線との比較によるX軸方向誤差絶対値

5 分析結果

5.1 $\lambda_{\max}$ と E の関係

$\lambda_{\max}$ の大きさごとに E の最大値および平均値を整理した結果を図-3に示す。

図-3より、いずれの検討地域においても、 $\lambda_{\max}$ が大きくなるほど E が対数的に大きくなることを確認できる。

また、 E は検討地域ごとに大きく異なり、三重県や鹿児島県等の多雨地域の方が大きい傾向があることが確認できる。

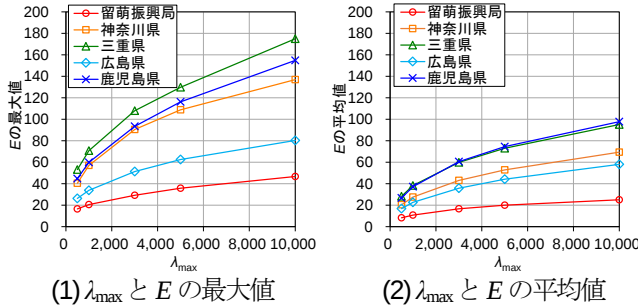


図-3 $\lambda_{\max}$ と E の最大値および平均値の関係

5.2 $\lambda_{\max}$ と応答曲面の歪みの関係

$\lambda_{\max}$ の大きさごとに応答曲面の歪みの最大値および平均値を整理した結果を図-4、図-5に示す。なお、応答曲面の歪みは、RBFN 出力値 0.05~0.95 (0.05 ピッチ) の各等 RBFN 出力値線の最大値を分析対象箇所の特徴値として整理している。

図-4、図-5より、平均誤差率については一部で変則的な挙動を示す場合があるものの、全体的には $\lambda_{\max}$ が大きくなるほど応答曲面の歪みが小さくなる傾向があることが確認できる。

また、応答曲面の歪みの平均値に着目すると、 $\lambda_{\max}$ が 3,000 以上の場合、最大曲率では 0 未満 (歪みなし)、平均誤差率では 3.4% 以下であり、多くの分析対象箇所歪みの少ない応答曲面が作成できることが確認できる。

一方で、応答曲面の歪みの最大値は検討地域ごとに大きく異なり、三重県や鹿児島県等の多雨地域の方が応答曲面の歪みが大きい傾向があることが確認できる。

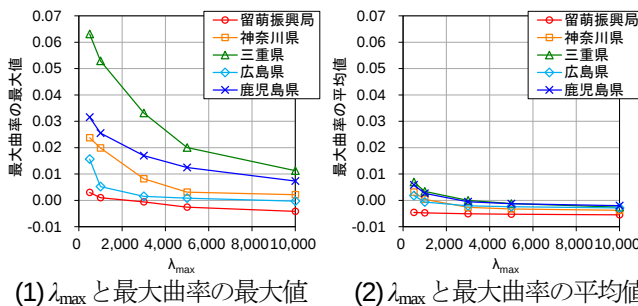


図-4 $\lambda_{\max}$ と最大曲率の最大値および平均値の関係

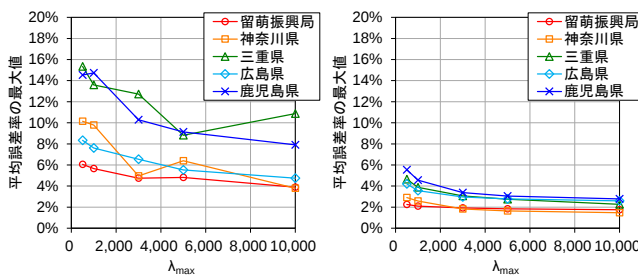


図-5 $\lambda_{\max}$ と平均誤差率の最大値および平均値の関係

5.3 E と応答曲面の歪みの関係

$\lambda_{\max}$ が 500、3,000、10,000 の場合における E と応答曲面の歪みによる散布図を図-6に示す。

図-6より、 $\lambda_{\max}$ が大きくなるほど E と応答曲面の歪みの分布が右下 (E 大、歪み小) へ移動する傾向があることが確認できる。図-7は、図-6のうち、 $\lambda_{\max}=500$ 時に応答曲面の歪みが大きい分析対象箇所のみを表示したものであるが、この図では上記の傾向がより顕著に確認できる。

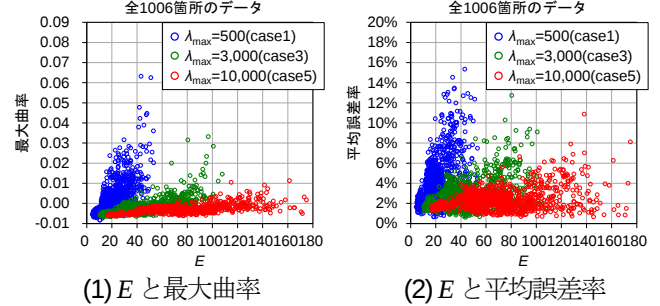


図-6 E と応答曲面の歪みの関係 (全分析対象箇所)

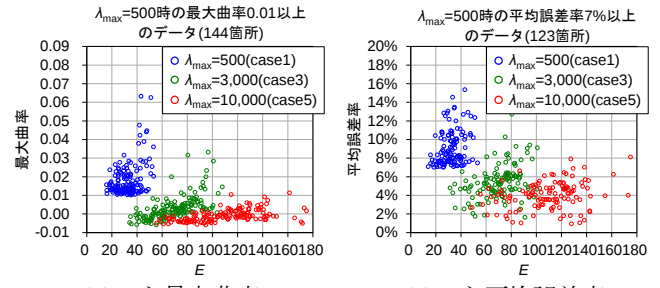


図-7 E と応答曲面の歪みの関係

($\lambda_{\max}=500$ 時に歪みが大きい分析対象箇所のみ)

5.4 分析結果のまとめ

5.1~5.3 の分析結果より、 $\lambda_{\max}$ が小さい場合に応答曲面の歪みが大きい分析対象箇所および $\lambda_{\max}$ を大きくせずとも応答曲面の歪みが小さい (応答曲面の抑制が過剰である) 分析対象箇所が確認されたため、これらの分析対象箇所については $\lambda_{\max}$ による応答曲面の調整が必要であると考えられる。

また、 $\lambda_{\max}$ が大きくなるほど、 E が大きくなり応答曲面の歪みが小さくなる傾向があることが確認されたため、 $\lambda_{\max}$ 、 E 、応答曲面の歪みの関係式が作成可能であると考えられる。

6 おわりに

本稿では、 $\lambda_{\max}$ 、 E 、応答曲面の歪みの関係を分析し、① $\lambda_{\max}$ が大きくなるほど、 E が大きくなり応答曲面の歪みが小さくなる傾向があること、② 応答曲面の歪みが大きい箇所・抑制が過剰である箇所が一定数存在することを確認した。

今後は、 $\lambda_{\max}$ 、 E 、応答曲面の歪みの関係式を作成するとともに、 E の上限値 (応答曲面の抑制が過剰とならない閾値) と歪みの許容値を設定し、 $\lambda_{\max}$ の調整による応答曲面の調整方法を検討することで、CL 設定を改善したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方、令和 5 年 3 月、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁大気海洋部、国土交通省国土技術政策総合研究所