

台風属性のスプライン表現とそのシミュレーション

徳島大学 工学部 正 員 端野 道夫
大学院 学生員 ○北澤 聖司
(株)大林組 村上 正一

1. まえがき

前年度の報告¹⁾に引き続き、台風による高潮と降雨・出水の同時生起性に関する研究の一環として、台風属性のシミュレーションについて報告する。高潮や台風性降雨は台風経路により非常に大きな影響を受けることから、高潮や降雨を推算する場合、その台風位置や台風要素の推定が重要となる。台風の中心位置、移動経路、移動速度を得て台風性降雨を予測するモデルとしては、淀川方式の降雨発生モデル²⁾がある。この方法は台風の時々刻々の位置や移動を平面に定量化するために、メッシュ解析の手法を採用しているが、そのメッシュ間で台風属性が不連続になる場合が生じる。そこで本文では、台風属性を場所の関数として、その連続的な変化特性を評価するために、台風3要素（中心気圧、進行方向、進行速度）の空間的平均場をB-スプライン関数³⁾で表現する。つぎにそのスプライン面からの残差について自己回帰モデルを適用したシミュレーションモデルを設定し、モデルの妥当性について検討する。使用した水文資料は、北緯29°~39°、東経129°~139°の矩形領域を通過した1934~1982年における、総雨量が20mmより大きいかまたは高潮偏差が26cm以上の台風約130個のデータである。

2. スプライン面の作成とシミュレーションモデルの構成

x - y 平面上（ x 方向:東経、 y 方向:北緯）にある上記の領域内の点 (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots, n$; n :データの関数として、中心気圧、進行方向、進行速度の各々の観測データ F_i が与えられたとき、 $S(x_i, y_i) = F_i$ となる近似曲面 $S(x, y)$ をB-スプライン関数を用いて(1)式のように表わすことができる。（ x, y 方向の節点を各々 $\xi_1 < \xi_2 < \dots < \xi_m$, $\eta_1 < \eta_2 < \dots < \eta_k$ とし、いずれもSchoenberg-Whitney³⁾の条件を満足するものとする。）

$$S(x, y) = \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^k C_{pq} N_{mp}(x) N_{mq}(y) \quad (1)$$

ただし、 $N_{mp}(x) = (\xi_p - \xi_{p-m}) M_{mp}(x)$, $N_{mq}(y) = (\eta_q - \eta_{q-m}) M_{mq}(y)$, $M_{mp}(x)$, $M_{mq}(y)$ は、節点 ξ_{p-m} から ξ_p , η_{q-m} から η_q までの範囲で定義された $m-1$ 次のB-スプラインで、重み係数 C_{pq} は $\sum_{p,q} \{S(x_i, y_i) - F_i\}^2$ を最小にすることより求めることができる。

曲面のあてはめを行なうためには、節点の最適位置の決定が重要である。まず、 x, y 方向の節点個数を同数とする。つぎに、スプライン次数を2次ないし、3次とし、内部節点数は1~6個でその節点位置は領域を等分するように設け、この組合せの中から、データ平滑化の評価基準としてAICを用い、このAICが最小になる組合せを選択する。その結果、内部節点数4、スプライン次数2を採用した。さらに最適な節点位置を求めるため、図2のA, B, Cに示すデータが希薄な領域を支配する内部節点I~IVを0.1刻みで変化させ、先に述べた残差の自乗和が最小となる節点位置を求めた。以上の方法より、台風の中心気圧 $P_i(x_i, y_i)$, 進行方向 $\theta_i(x_i, y_i)$, 進行速度 $C_i(x_i, y_i)$ を F_i として求めたスプライン面 (S_p, S_θ, S_c) を絶対スプライン面とよび、これを後述の台風シミュレーションの初期値

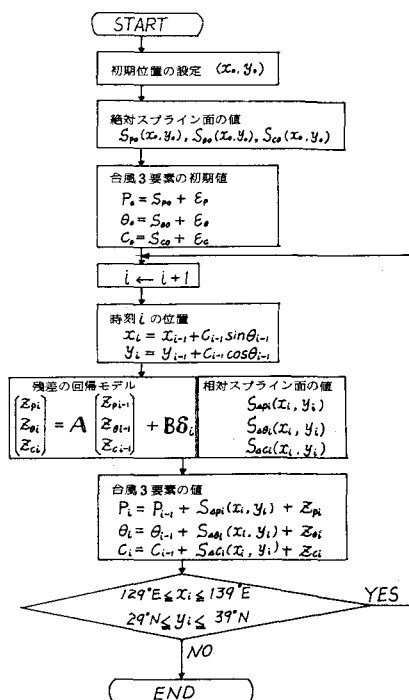


図1 シミュレーションの計算手順

設定に用いることにする。つぎに、(2)式のように*i*時刻のデータと*i-1*時刻のデータの差をとり、それを*P_i*とした台風移動に伴う要素を求めるためのスプライン面(*S_{ap}*, *S_{so}*, *S_{sc}*)を作成し、これを相対スプライン面とよぶことにする。

$$\Delta P_i(x_i, y_i) = P_i(x_i, y_i) - P_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}) \quad \Delta \theta_i(x_i, y_i) = \theta_i(x_i, y_i) - \theta_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$$

$$\Delta C_i(x_i, y_i) = C_i(x_i, y_i) - C_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}) \quad (2)$$

つぎに、台風3要素の相対スプライン面からの残差*Z_i*を個々の台風より求め、本文では、その残差について(3)式で表わされるMatalas⁴⁾の多変量1次自己回帰モデルを適用する。

$$Z_i = A Z_{i-1} + B \delta_i \quad (3)$$

δ_i は確率変量で各要素は平均0、分散1をもつ白色雑音である。係数行列A, Bは、図2にNo.1-No.3で示すように進入位置別に推定を行なった。これは台風を季節別に、進入位置で整理した結果、No.1, 3では8, 9月のNo.2では10月以降の台風特性が卓越しており、台風要素の季節性とよく対応していると考えられる。以上のように求められたスプライン面と自己回帰モデルを用いた台風3要素のシミュレーションの計算手順を図1のフローチャートに示す。

3. シミュレーション結果と考察

本シミュレーションモデルにおいて乱数項を除き、絶対、相対スプライン面だけによる平均的な台風のシミュレーションを行なった結果を図3, 4に示す。いずれの場合も一般的な台風の経路を示していることから、スプライン面が経路の要素としての進行方向、進行速度の平均的な変化特性をかなりよく表現しているといえる。図3, 4には6時間ごとに中心気圧についても記してあるが、中心気圧についてもほぼ妥当な結果が得られている。乱数項を付加したシミュレーションでは、3要素の初期値*P₀*, θ_0 , *C₀*として既往の台風の進入位置における3要素の実測値を参考にした値を与えた。その結果を図5に示す。3要素の変化特性は、実際の台風要素の変化特性をよく再現しているといえる。このシミュレーションモデルは、1次の自己回帰モデルを採用しているが、3要素の持続性が強いことを考慮し、モデルの最適次数等について今後、検討する余地がある。

4. あとがき

B-スプライン関数を用いて求めた台風3要素の空間的平均場は、各要素の特性を連続的によく表現しているといえる。適切な自己回帰モデルを設定すれば、前年度発表した高潮・降雨の回帰式に、このシミュレーションモデルから得られた台風要素をデータとして与えることにより、高潮・降雨の推算が可能となる。

参考文献：1) 磯野、徳増、大阪における台風時の降雨と高潮に関する回帰分析、34回中四学講1982

2) 建設省・近畿地方建設局：淀川の治水計画とそのシステム学的研究 3) 市田・吉本：スプライン関数とその応用

(教育出版) 4) Matalas, N.C.: Mathematical assessment of synthetic hydrology, Water Resources Research 1967

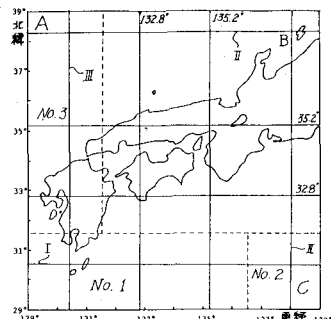


図2 対象領域と節点位置

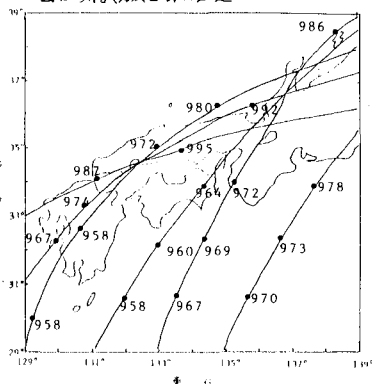


図3 シミュレーション結果 No.1 (乱数項除去)

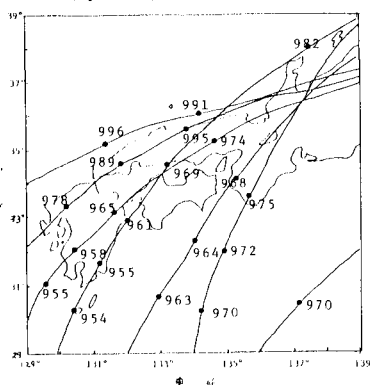


図4 シミュレーション結果 No.2 (乱数項除去)

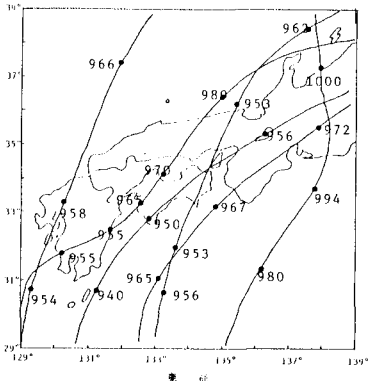


図5 シミュレーション結果 No.3 (乱数項付加)