

Ⅱ-24 確率的台風モデルの改良と波高の極値推定への応用

愛媛大学工学部 正員 山口 正隆 愛媛大学工学部 正員 畑田 佳男
愛媛大学大学院 学生員 〇眞鍋 晶 愛媛大学工学部 正員 野中 浩一

1. はじめに：著者らは、特定時点の台風属性が1つ前の時点の台風属性のみに依存するという1次マルコフ過程の仮定に基づく確率的台風モデルを開発するとともに、海上風推算モデル、波浪・高潮推算モデルおよび極値統計解析モデルを結合することによって、「波高あるいは高潮の極値推定システム」を提案した。しかし、1次マルコフモデルは、現実の台風と比べて、急激な経時変化を伴う台風属性を生成する可能性をもつことから、風・高潮・波浪にもその影響が現れるのではないかと懸念される。そこで、台風属性の移動に伴う変化に対して2次マルコフ過程の考え方を採用して、北西太平洋領域における季節別確率的台風モデルを再構築し、台風属性や波高極値のシミュレーション結果に及ぼす再定式化の影響を検討する。

2. 確率的台風モデルの再定式化：モデル化にあたっては、これまでと同様に1951～1991年の41年間の天気図より作成した6時間ごとの台風属性(中心位置, 中心気圧, 楕円長軸傾斜角, 台風半径, 台風半径比, 中心位置変化量, 中心気圧変化量, 長軸傾斜角変化量)資料を用いる。本モデルは台風の季節別発生数をポアソン分布で表し、領域境界上の台風属性の平均特性を1次元スプライン関数で、領域内の台風属性およびその変化量間の相関関係を線形回帰式によって近似するとともに、境界および領域内での平均値からの変動量を経験的確率分布で表示する。この際、台風属性の地域特性を考慮するため、図-1に示すように境界を6分割、領域内を16分割した小ブロックごとに別々にモデルを作成する。

たとえば、1次マルコフモデルでは、 $i+1$ 時点の台風中心気圧は $P_{ci+1} = a + bP_{ci}$ 、2次マルコフモデルでは $P_{ci+1} = a + bP_{ci} + cP_{ci-1}$ で表されるとする。2次マルコフモデルは台風中心位置 (X_c, Y_c) 、中心気圧 P_c 、楕円長軸傾斜角 θ とそれらの変化量に対して作成する。表-1に示すように、2次マルコフモデルはこれらの台風属性とその変化量のうち、とくに中心位置 X_c, Y_c に対して1次マルコフモデルよりかなり高い相関係数を与える。しかし、他の台風属性に対しては相関係数の増加をもたらさなかったため、従来のモデルを用いる。図-2は1次マルコフモデルと2次マルコフモデルを用いた場合の X 方向台風中心位置 X_c の関係を示したものであり、2次マルコフモデルにおいて資料値と計算値の相関が高くなっていることがわかる。

3. シミュレーション結果の考察：1次マルコフモデル(cal1)

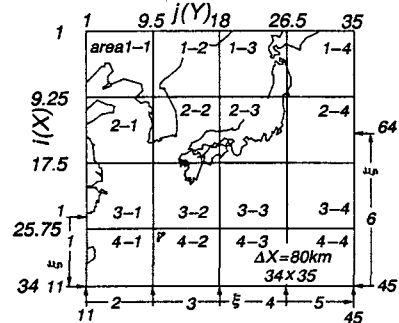


図-1 モデル化の領域

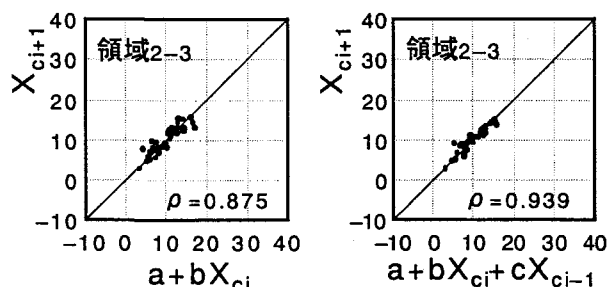


図-2 中心位置 X_c の相関関係

表-1 線形回帰式による相関係数

台風属性	モデル	2-2	2-3	3-2	3-3
X_c	1次	0.899	0.875	0.898	0.922
	2次	0.955	0.939	0.949	0.981
Y_c	1次	0.814	0.794	0.864	0.918
	2次	0.948	0.901	0.970	0.982
P_c	1次	0.924	0.817	0.966	0.945
	2次	0.925	0.817	0.971	0.946
θ	1次	0.882	0.917	0.952	0.965
	2次	0.906	0.922	0.963	0.976

表-2 (1) 台風属性の平均値と標準偏差

台風属性	資料名	領域 2-2		領域 2-3	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
台風中心気圧 P_c (hPa)	obs.	983.3	11.4	981.7	11.8
	cal1	981.9	14.1	982.6	13.7
	cal2	979.7	14.3	983.0	13.3
進行速度 C (km/h)	obs.	36.3	12.1	42.3	17.1
	cal1	31.7	11.9	35.1	16.2
	cal2	30.3	11.9	35.9	15.9
進行方向 β ($^\circ$)	obs.	23.3	27.6	39.5	20.6
	cal1	15.6	43.0	23.3	43.3
	cal2	20.3	34.9	30.9	31.8
軸傾斜角 θ ($^\circ$)	obs.	17.0	23.6	24.4	21.3
	cal1	12.6	30.1	7.1	35.6
	cal2	18.0	31.1	5.2	42.2
半径 A (km)	obs.	160	65	144	67
	cal1	163	60	158	59
	cal2	157	56	157	53
半径 B (km)	obs.	153	65	130	60
	cal1	157	57	152	58
	cal2	151	53	150	51
半径比 (B/A)	obs.	0.96	0.10	0.92	0.12
	cal1	0.96	0.03	0.96	0.04
	cal2	0.96	0.03	0.96	0.04

および2次マルコフモデル(cal2)に基づくシミュレーションを41年、100回実施した。表-2は代表小領域における台風属性(中心位置は移動速度CとNより時計回りの進行方向 β に変換)の平均値と標準偏差を示したものである。いずれのモデルが平均値や標準偏差に関して資料値(obs.)に近い値を与えるかは必ずしも明らかでない。

4. 北西太平洋領域における波高の極値：図-3は1948～1998年の51年間454ケースの既往台風、図-4は1次マルコフモデルおよび2次マルコフモデルによって発生した1000年間約7800ケースのシミュレーション台風、に対する波浪推算からそれぞれ得た台風時年最大波高資料に基づく100年確率波高の平面分布を示す。いずれの年最大波高資料も中心気圧980hPa以下に発達した台風を対象として推定されているのに対して、現実にはこれ

より勢力の弱い台風によって生起する可能性もあることを考慮し、極値統計解析において年最大波高資料の限界波高を既往台風では1m、シミュレーション台風では2mとしている(第1種 censoring 資料)。既往台風資料に基づく確率波高は南方海域、小笠原諸島東方海域および沖縄本島太平洋側で16mであり、局所的に18mに達する。わが国沿岸のうち、関東南部沖～四国沖では確率波高は14～16mをとる。シミュレーション台風資料による確率波高は、南方海域、関東以北、東シナ海中央部、さらに、沖縄付近から日本西南部において既往台風の場合と比較的よく符合する。とくに、2次マルコフモデルは関東以北および東シナ海で1次マルコフモデルより既往台風における確率波高に近い分布を与える。しかし、北海道西側海域では1次マルコフモデルや既往台風ケースよりやや大きい値を、対馬海峡域ではやや小さい値をとる。

5. まとめ：2次マルコフモデルを用いた確率的台風モデルを用いたシミュレーション結果は台風属性の平均値や標準偏差に対して1次マルコフモデルに基づく結果と同様な値を与え、いずれも既往台風の結果と比較的よく符合する。

2次マルコフモデルに基づく波浪シミュレーションは全般的に1次マルコフモデルの場合より、既往台風資料に基づく確率波高の平面分布に近い結果を与える。しかし、北海道西側海域や対馬海峡周辺海域のように、モデルの高次化によって既往台風に基づく結果からかえって乖離する海域も出現する。

表-2 (2) 台風属性の平均値と標準偏差

台風属性	資料名	領域 3-2		領域 3-3	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
台風中心気圧 P_c (hPa)	obs.	967.5	15.9	972.6	14.5
	cal1	968.8	16.8	971.6	15.8
	cal2	967.5	17.1	971.3	16.0
進行速度 C(km/h)	obs.	20.3	9.3	27.1	12.9
	cal1	21.1	10.3	24.9	13.0
	cal2	21.3	10.3	24.9	13.0
進行方向 $\beta(^{\circ})$	obs.	-1.9	44.2	9.4	47.6
	cal1	9.7	51.2	10.8	57.6
	cal2	9.8	51.3	12.1	57.0
軸傾斜角 $\theta(^{\circ})$	obs.	2.8	30.1	3.5	36.4
	cal1	2.7	30.8	-1.2	37.8
	cal2	3.7	32.9	0.5	38.1
半径 A (km)	obs.	112	50	120	61
	cal1	110	34	112	40
	cal2	104	35	113	41
半径 B (Km)	obs.	108	49	117	59
	cal1	108	34	109	38
	cal2	107	35	110	40
半径比 (B/A)	obs.	0.97	0.07	0.98	0.05
	cal1	0.98	0.03	0.97	0.04
	cal2	0.98	0.03	0.97	0.04

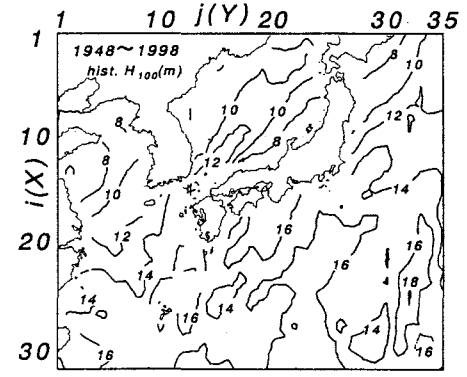


図-3 100年確率波高 (既往台風)

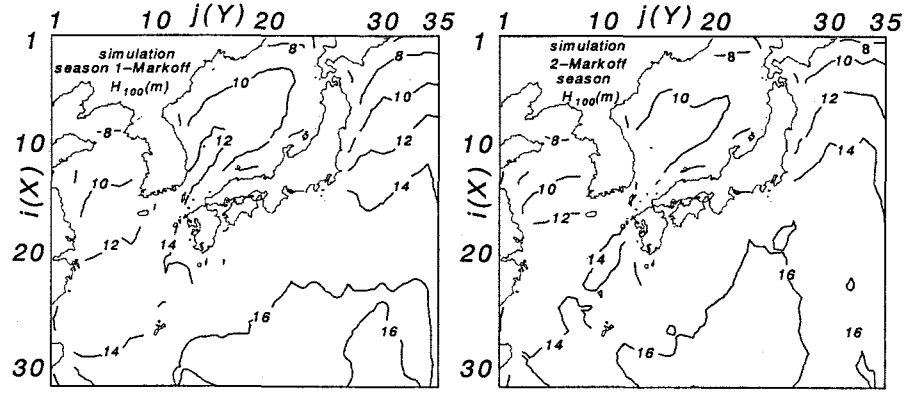


図-4 100年確率波高(シミュレーション台風)