

季節変動および長期変動を考慮した確率的台風モデルと 波浪の極値推定への応用

愛媛大学工学部 正 員 山口正隆 (株)ハザマ 正 員 中村雄二
愛媛大学大学院 学生員 ○大木泰憲 愛媛大学工学部 正 員 畑田佳男

1. はじめに わが国太平洋岸および東シナ海沿岸に異常波浪をもたらす気象擾乱は主として台風である。台風に伴う異常波高域は100～200km程度と局所的であり、空間変化も著しいため、特定地点における波高は、同程度の規模をもつ台風であっても、台風経路や台風特性の偶然性によって大きく異なる可能性がある。このため、従来行われてきた、過去数十年という短い期間における観測結果や追算結果の極値統計解析に基づく方法では、台風時波浪の極値を的確に推定できるとは言いがたい。そこで、我々は台風時波浪のモンテカルロシミュレーションを行い、その結果を極値統計解析する「確率的台風モデル、海上風推算モデル、波浪推算モデルおよび極値統計解析モデルを組み合わせた台風時波浪の極値推算システム」を構築した。

2. 確率的台風モデル 過去の台風属性資料（中心気圧、中心位置、台風半径）を統計解析して、台風の経路、気圧、台風半径に関する確率モデルを作成した。確率的台風モデルには、台風属性資料を一括して解析する通年モデルのほか、季節別に解析する季節別モデル、年代別に解析する年代別モデルがある。今回新たに開発した季節別、年代別モデルは、通年モデルを発展させたモデルで、台風の季節変動、長期変動を考慮できるようになっている。基本となる通年モデルに関して、その作成法とシミュレーションの手順を述べる。台風属性資料としては、1951～1991年の間に図-1に示す対象領域内を通過し中心気圧が980hPa以下となった320個の台風に対して、気象要覧、台風経路図および天気図より6時間ごとに作成したものを使用する。まず、対象領域の境界上に配した1次元座標を横軸に取った発生位置の累積分布を作成する。次に、境界上での台風属性の平均特性を1次元重み付きスプライン関数で、領域内での台風属性の時刻 $t=i$ の値と $t=i+1$ の値の相関関係を1次回帰式で近似するとともに、平均値からの変動量を経験的確率分布で表す。この際、境界を6分割、領域内を16分割して地域特性が台風属性の変化に及ぼす影響を考慮する。また、台風半径は中心気圧および1時刻前の台風半径の関数として表す。シミュレーション手順は以下のようなものである。①台風の年平均発生個数を平均値とするポアソン乱数によって1年間に発生する台風個数を決定する。②台風発生位置を、発生位置の累積分布に0～1の一樣乱数を与えることで決定する。③台風属性の初期値を、台風発生位置での台風属性のスプライン値とスプライン曲線からの変動量の累積分布に一樣乱数を与えることで得られる変動量の和として求める。④領域内での台風属性を、1次回帰式から求められる値と③と同じ方法で得られる変動量の和として求める。⑤台風が対象領域の外にでるか、中心気圧が1008hPa以上に減衰するまで④を繰り返す。季節別、年代別モデルの場合には、①～⑤の手順をそれぞれ季節別あるいは年代別に繰り返す。



図-1

より6時間ごとに作成したものを使用する。まず、対象領域の境界上に配した1次元座標を横軸に取った発生位置の累積分布を作成する。次に、境界上での台風属性の平均特性を1次元重み付きスプライン関数で、領域内での台風属性の時刻 $t=i$ の値と $t=i+1$ の値の相関関係を1次回帰式で近似するとともに、平均値からの変動量を経験的確率分布で表す。この際、境界を6分割、領域内を16分割して地域特性が台風属性の変化に及ぼす影響を考慮する。また、台風半径は中心気圧および1時刻前の台風半径の関数として表す。シミュレーション手順は以下のようなものである。①台風の年平均発生個数を平均値とするポアソン乱数によって1年間に発生する台風個数を決定する。②台風発生位置を、発生位置の累積分布に0～1の一樣乱数を与えることで決定する。③台風属性の初期値を、台風発生位置での台風属性のスプライン値とスプライン曲線からの変動量の累積分布に一樣乱数を与えることで得られる変動量の和として求める。④領域内での台風属性を、1次回帰式から求められる値と③と同じ方法で得られる変動量の和として求める。⑤台風が対象領域の外にでるか、中心気圧が1008hPa以上に減衰するまで④を繰り返す。季節別、年代別モデルの場合には、①～⑤の手順をそれぞれ季節別あるいは年代別に繰り返す。

3. 海上風推算モデルおよび波浪推算モデル 海上風推算には台風モデル法を、波浪推算にはエネルギー平衡

方程式に基づく1点浅海波浪推算モデルを使用する。今回対象とした石廊崎における波浪推算モデルの計算条件を表-1に示す。また、1点浅海波浪推算モデルの計算格子網には、推算地点近傍の地形の影響を考慮するため、推算地点周辺で格子間隔を細かくした2段階格子網を使用する（図-2）。

4. **極値統計解析** 極値統計解析モデルには、数種類の極値確率分布と母数推定法の組合わせが存在する。そこで、極値推定の際には、すべての組合わせについて計算を実施して、その中から最適な結果を選択することが望ましい。しかし、これらの方法の多くは複雑な計算を必要とするので、あらかじめその一般的な特性を調べておいて、極値資料がもつ特性に最も適合する方法を経験的に選択する。

5. **波浪の極値推定** 極値推算システムを用いて石廊崎における波高の極値を推定した。波高の極値統計解析は3母数Weibull分布（PWM法）による。この方法は、他の極値統計解析モデルに比べて計算が容易でしかも、かなり良好なあてはめ結果を与える方法であることが4.において確認されている。モンテカルロシミュレーションは期間を1000年として行い、シミュレーション結果の年最大値を極値資料とした。確率波高の推定結果を表-2に示す。表-2には観測結果、追算結果（いずれも台風発生年最大値）に基づいて推定した確率波高も与えられる。また、確率波高はjackknife法によって偏倚を補正した値であり、標準偏差も同時にjackknife法で求められる。この表より以下のことがわかる。

①資料数（年数）が少ない観測結果に基づく100年確率波高は12.0mで、他の方法と比べて1m以上低い。②観測結果以外の方法による確率波高はかなり近い値となっている。③100年確率波高が最も高いのは、年代別モデルを使用した場合であり、その値は13.5mをとる。④3つの極値推算システムの中では、通年モデルの確率波高が一番低い。これは通年台風モデルが季節変動、長期変動を平均化した形で定式化されているためである。

6. **まとめ** 本システムは、台風時波浪の極値推定に関して優れたシステムである。また、確率波高の標準偏差（および偏倚）の推定はjackknife法の適用によったが、本システムはシミュレーションを複数回行うことで標準偏差を直接求めることも可能であるので、その結果を講演時に述べる。

表-1

石廊崎				
θ_s°	314.0			
θ_e°	-50.0			
$\Delta\theta^\circ$	14.7			
N_θ	19			
$f(Hz)$	0.040	0.045	0.050	0.055
	0.060	0.065	0.070	0.075
	0.080	0.085	0.090	0.095
	0.100	0.110	0.125	0.140
	0.165	0.200	0.250	0.300
	0.350	0.400	0.500	
N_f	23			

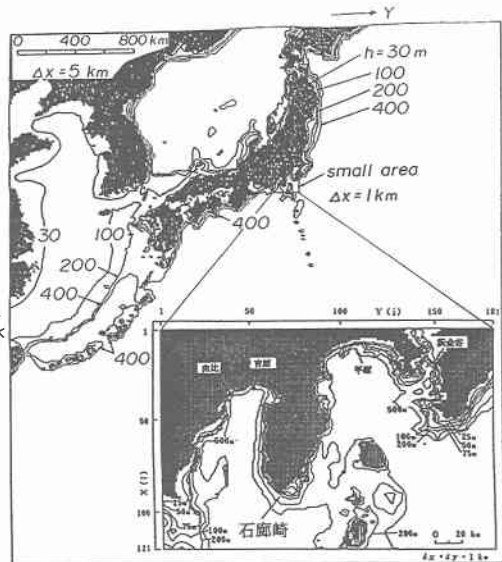


図-2

表-2

		観測	追算	台風シミュレーション		
				通年	季節	年代
$H_{1/3max}$	m	10.2	11.6	15.7	16.0	15.4
$H_{1/3}^{(50)}$	m	11.2	12.6	12.6	12.7	12.8
$H_{1/3}^{(100)}$	m	12.0	13.4	13.3	13.4	13.5
$H_{1/3}^{(200)}$	m	12.9	14.1	14.0	14.1	14.2
$H_{1/3}^{(500)}$	m	13.9	15.0	14.8	15.0	15.1
$H_{1/3}^{(1000)}$	m	14.6	15.7	15.4	15.6	15.7
$\sigma^{(50)}$		1.49	0.51	0.19	0.21	0.19
$\sigma^{(100)}$		1.79	0.61	0.23	0.25	0.22
$\sigma^{(200)}$		2.10	0.73	0.26	0.28	0.26
$\sigma^{(500)}$		2.54	0.91	0.31	0.33	0.30
$\sigma^{(1000)}$		2.88	1.05	0.34	0.37	0.34