

東シナ海沿岸における台風 9119 号時の異常波浪の推定

山口正隆*・畑田佳男**・旭置武志***・佐藤 尚***

1. 緒 言

昨年、東シナ海を北東進し、九州北部を通過した台風 9119 号は、台風 8712 号に続き、九州西部部に甚大な波浪災害をもたらした。このような相次ぐ巨大台風の来襲と沿岸災害の発生は波浪の最大規模や設計波高の評価法に再検討をせまるものであろうが、現段階で緊急に取り組むべき課題の 1 つは、台風 9119 号時の波浪を広域的にしかも精度よく推定するとともに、本台風時の波浪が過去数十年の間の異常波浪の中でどの程度の規模に達するかを検討することであり、こうした努力は沿岸域の高度利用に伴い、今後ますます大規模化すると予想される沿岸波浪災害に対処する上で資するところが少なくないと考えられる。

そこで、本研究では、まず台風 9119 号時の東シナ海沿岸を対象とした、台風モデル法および浅海波浪推算モデルに基づく風および波浪の推算結果と観測結果との比較から各モデルの精度を検証したのち、本台風時の波浪分布特性を考察する。ついで、過去約 50 年の間の台風に対する波浪推算結果の極値統計解析から、九州西部部での既往最大波高や 50 年・100 年 確率波高を推定するとともに、波浪の最大規模に及ぼす台風経路の影響を検討する。

2. 海上風および波浪推算モデルの概要

(1) 海上風推算モデル

台風に伴う海上風の推算には、台風内の気圧分布に Myers 式を仮定して求めた中心対称傾度風と台風の移動に伴う場の風をベクトル合成することにより台風内の風速・風向を求める台風モデル法を使用する。その適用にあたっては、極東天気図より 6 時間ごとに台風データ（中心気圧、中心位置、台風半径）を求め、内挿を通じて 20 分あるいは 30 分あるいは 1 時間ごとのデータとしたのち、緯度別に吹き込み角を与えて風向・風速を算出する。また、海上風への換算係数は 0.6 とする。

(2) 波浪推算モデル

波浪推算は、格子点深海および浅海モデル（山口ら、1984）と 1 点浅海モデル（山口ら、1987b）によって行う。これは、波浪の平面分布を同時に得られる格子点モデルの特徴と地形分解能の高い計算を効率よく行える 1 点モデルの特徴を活用するためである。

格子点モデルによる波浪推算では、目的別に図-1 に相互の位置関係を示す 3 種類の格子網を使用する。これらのうち最も大きな海域は、西太平洋、東シナ海における波浪の極値の推定に使用する格子間隔 80 km の格子網であり、格子点深海モデルによる波浪推算を行う。これにつぐ海域は東シナ海を対象とした格子間隔 40 km の格子網であり、東シナ海が比較的浅い海域であることから、格子点浅海モデルによる波浪推算を行う。最も小さい海域は九州沿岸での波浪分布を得るために使用する格子間隔 5 km の計算格子網である。この格子網では格子間隔 40 km の格子網上での波浪推算結果を境界条件として与えた場合の格子点浅海モデルによる波浪推算を行う。

入力条件は、80 km 格子網では 0.045~1 Hz 間を不

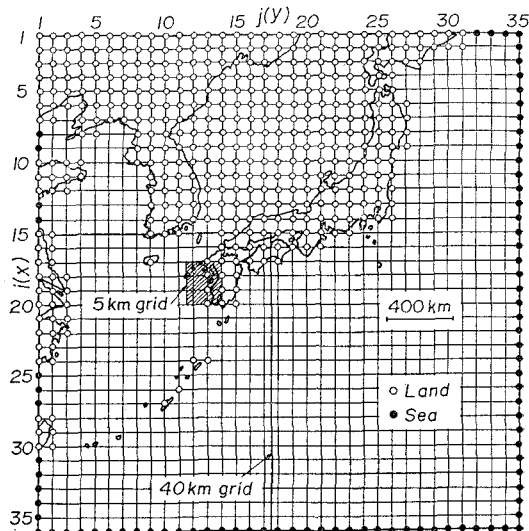


図-1 3種類の格子網の相互関係（格子点モデル）

* 正 会 員 工 博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

** 正 会 員 工 修 愛媛大学助手 工学部土木海洋工学科

*** 学生会員 愛媛大学大学院 工学研究科

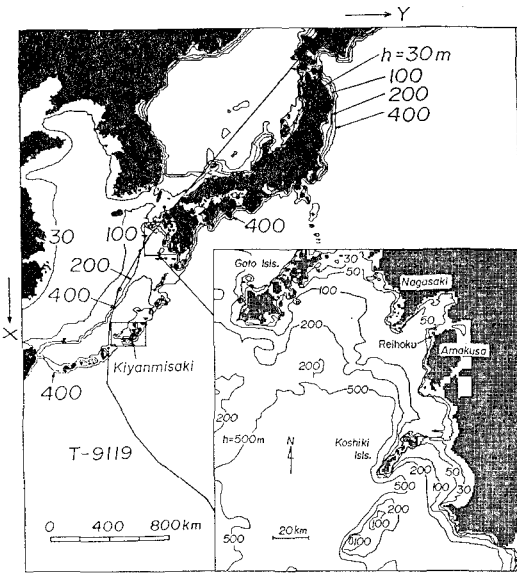


図-2 格子網および等深線 (1点モデル)

等分割した20個の周波数, 40 km および 5 km 格子網では 0.04~0.5 Hz 間を不等分割した21個の周波数, 3つの格子網で共通して 0~360° を $\Delta\theta=20^\circ$ で等分割した19個の方向値であり, 風および波計算時間間隔は 80 km 格子網では $\Delta t=1$ hr, 40 km 格子網では $\Delta t=30$ min, 5 km 格子網では $\Delta t=4$ min (ただし, 海上風は $\Delta t=20$ min ごとに計算した結果を $\Delta t=4$ min ごとに内挿) とする。

1点浅海モデルでは, 図-2 に示すように, 格子間隔 5 km の西太平洋海域と四角で囲んだ格子間隔 1 km の波浪追算点周辺海域を結合した2段階格子網を使用する。図中の九州沿岸海域の等深線図から明らかなように, 格子間隔 1 km の格子網により地形や水深変化の細部がかなり精度よく近似される。入力条件は, 0.04~0.5 Hz 間を不等分割した22あるいは23個の周波数および波浪追算点に到達する成分波の方向を20~30個に分割した方向値である。波計算時間間隔は $\Delta t=1$ hr とし, 波向線上波計算点の海上風は, 格子間隔 80 km の格子点上で, また波浪追算点周辺海域では格子間隔 10 km をもつ 400 km 四方の格子点上で1時間ごとに台風モデル法に基づいて算出した海上風を2次元4点補間式により内挿するとともに, 波浪追算点では1時間ごとに台風データを与えて直接計算する。

3. 台風 9119 号時の波浪追算

(1) 台風経路

図-2 に台風経路を示すように, マーシャル諸島付近で発生し, 西進しながら発達した台風9119号はルソン島の東方海上で進路を北西に変え, 26日12時には宮古島の

東北東約 40km の海上を, 27日3時には那覇市の西約 210 km の海上を通過して東シナ海中央部を北上し, 27日16時すぎに長崎県佐世保市付近に上陸した。その後, 福岡県を通り日本海上に抜けた台風は速い速度で北東に進み, 28日オホーツク海で温帯低気圧となった。台風9119号は, 九州上陸時の中心気圧が 935 mb ときわめて強い勢力をもち, 暴風半径も 300 km 前後であったので, 九州全域を暴風域に包み, 各地で最大観測風速記録を更新した。

(2) 海上風追算結果と観測結果との比較

図-3 は 10 m 高度における海上風の追算結果と観測結果との比較例を南西諸島の石垣島, 薩摩半島南端の枕崎, 長崎半島西端の野母崎について示したものである。観測風はいずれも地形の影響を大なり小なり受けた陸上風であるが, これに対する補正は行わず, 対数則に基づく高度補正のみを加えた。全地点の比較検討結果を要約すると, 南西諸島や九州南部では風特性の時間変化に関する若干のずれや風速の過大あるいは過小評価地点もあるけれども, 全般的に追算結果と観測結果との対応は良好であるのに対し, 九州中北部では, 観測結果が受ける地形の影響がより著しいことから, 一般に観測結果における風特性の時間変化が追算結果より急激であり, しかも風速の最大値もより大きい地点がみられる。

図-4 は九州周辺の風観測結果 (観測地点を図中に黒

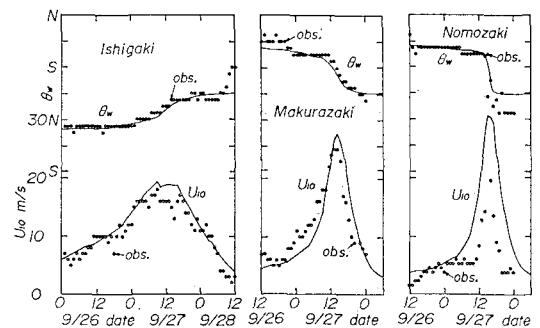


図-3 海上風追算結果と観測結果との比較

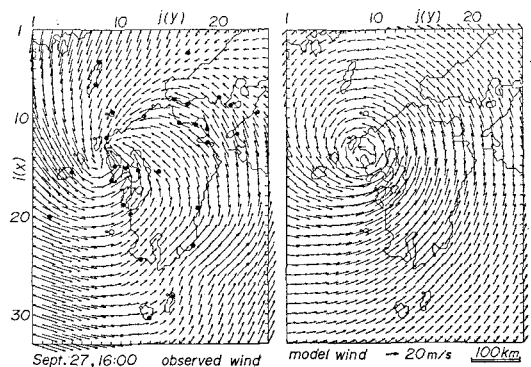


図-4 台風に伴う風ベクトル分布の比較

丸印で記入)に加重一次補間法を適用して20 km間隔の格子点上で求めた風ベクトル分布と台風モデル法に基づく風ベクトル分布を比較したものである。観測風の内挿結果は、個々の観測地点の風特性の影響を受けるため、台風モデル法による結果ほど滑らかな風ベクトルの空間分布を示さないけれども、両者の結果において、台風中心付近の低風速域や台風中心まわりを反時計方向に回転する風の場合は相互によく対応する。

以上のことから、台風モデル法は少なくとも台風9119号時の風の場を比較的良好に再現すると判断される。

(3) 波浪追算結果と観測結果との比較

図-5は沖縄本島太平洋側の喜屋武岬(水深51 m)、大隅半島南端の佐多岬(水深45 m)、五島列島の福江島(水深51 m)、四国室戸岬近傍の室津(水深25 m、いずれも40 km格子網)、九州天草下島の苓北(追算点水深28 m、観測水深18 m、5 km格子網)、日本海沿岸のうち島根半島の鹿島(水深47 m)、丹後半島の経ヶ岬(水深47 m)、山形県温海(水深45 m)および北海道松前半島の松前(水深49 m)における有義波時系列に対して、両浅海モデルによる追算結果と観測結果を比較したものであり、かっこ内は格子点浅海モデルで使用した格子網を示す。また、1点浅海モデルでは、5 km格子網を使用した日本海沿岸4地点を除き2段階格子網を用いている。

まず1点浅海モデルは、喜屋武岬では最盛時前半で波高を過小評価、佐多岬では最盛時以降で波高を過大評

価、福江島ではうねりの到達期の周期を過小評価する傾向にあるが、全体としては台風の接近・通過に伴う波浪変化をよく再現する。とくに、苓北における台風到達前のうねりや台風通過時の急激な波高上昇と17 sに及ぶ周期の増大、また日本海沿岸でのうねりを伴わない風浪の急激な発達とその後の緩やかな減衰をうまく再現する。

一方、格子点浅海モデルは、波浪の来襲方向に対して陸地地形や水深変化の影響をあまり受けない喜屋武岬や室津では喜屋武岬における発達期前半の過小評価傾向を除き、観測結果をかなりよく再現するのに対して、種子島や屋久島が40 km格子網では部分的にしか近似されていないことから、佐多岬では過大評価となるし、5 km格子網によっても地形分解能が不足する福江島では逆に過小評価になる。また、苓北では来襲波浪を遮蔽する島が存在しないので、追算結果は1点浅海モデルと同様に観測結果と比較的良好に対応するが、15 s以上の長い周期の再現が不十分である。

以上のように、地形分解能を高めた両浅海モデルの台風9119号時の波浪に対する再現性は全般的にかなり良好であると判断されるが、格子点浅海モデルは苓北において17 sに及ぶ周期を再現しないことから、今後の検討が必要である。

(4) 最大波高の平面分布

図-6は5 km格子網での格子点浅海モデルによる波浪追算結果から得た九州沿岸海域における台風9119号時

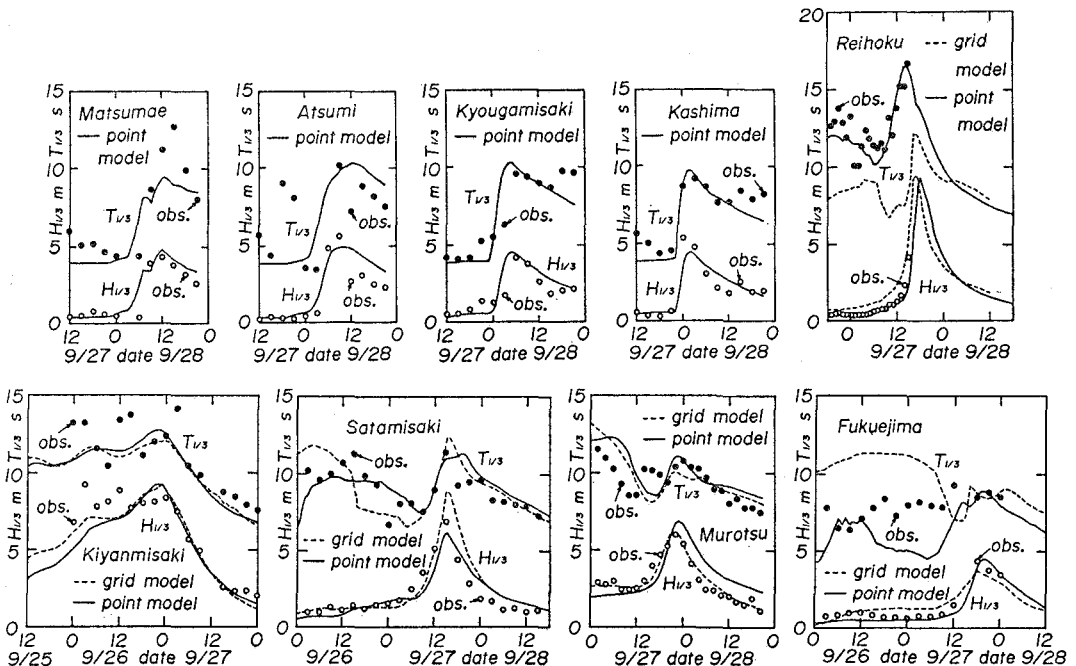


図-5 波浪追算結果と観測結果との比較

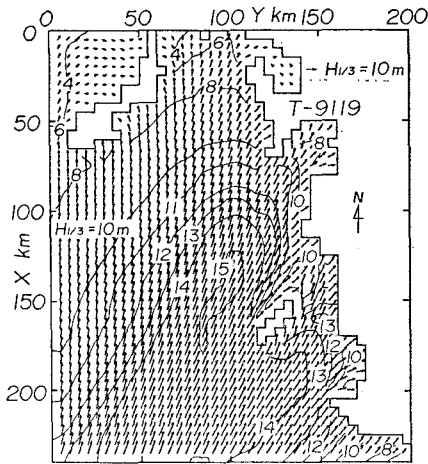


図-6 台風9119号時の最大波高分布

の最大波高分布を示したものである。台風9119号はその経路特性のため東シナ海中部から九州中南部沖合にかけて14~15 mに及ぶ異常波浪をもたらしている。また、九州沿岸部ではそれぞれの地点における波浪遮蔽効果や水深変化の影響が異なることから、来襲波浪の規模は7~13 mとかなりの範囲で変動するが、とくに本台風時の波浪はSSW方向から来襲したので、九州中部沿岸では甌島の遮蔽効果を強く受け、波高は10 m程度にまで減衰するのに対し、遮蔽効果をあまり受けない甌島以南の沿岸部における最大波高は13 mに達する。

4. 九州西岸部における波高の極値の推定

(1) 既往資料に基づく異常波浪の検討

図-7は過去54年間の125台風に対し80 km格子網での格子点深海モデルを用いた波浪追算に基づき推定した、台風に伴う既往最大波高分布図(山口ら, 1989)に台風9119号に伴う最大波高分布を重ね合わせた既往最大波高分布の改訂図であり、九州南部において台風9119号

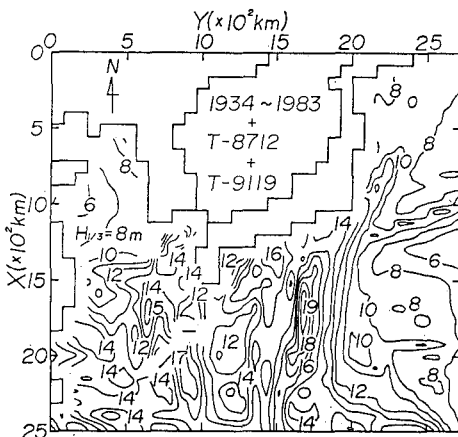


図-7 既往最大波高分布の改訂図

に伴う14 m以上の高波高域が新たに出現していることから、台風9119号は既往最大波高分布を変えるほどの異常波浪を九州南部にもたらしたといえる。また、1950年~1983年の34年間の台風に伴う年最大波高資料(山口ら, 1987a)に対し、最尤法で母数を推定した3母数対数正規分布をあてはめた結果によると、天草下島の牛深、鹿児島県の串木野および枕崎(いずれも陸上部より80 km 沖合)における台風9119号時の最大波高の再現期間はそれぞれ182年、1250年および37年である。一方、5 km格子網を用いた1点浅海モデルにより牛深、串木野、枕崎の沖合10 km地点において推定した、1950年~1987年の38年間の台風に伴う年最大波高資料(山口ら, 1987c)に対し、最尤法で母数を推定した3母数対数正規分布をあてはめた結果数によると、台風9119号時の最大波高の再現期間はそれぞれ83年、250年および125年である。

以上のように、既往資料の解析結果によれば、台風9119号は九州中南部沿岸に再現期間80年以上の異常波浪をもたらしたと推定されるが、なかでも串木野付近では再現期間が250年を越える。

(2) 苓北における波高の極値の推定

台風9119号時の異常波浪の特徴をより詳細に検討するため、10年以上にわたり波浪観測が継続され、観測結果が整理されている天草下島苓北地点(水深28 m)に波浪追算点を限定し、5 km格子網と1 km格子網よりなる2段階格子網において1点浅海モデルによる波浪追算を実施した。図-8は1940年~1991年の119台風を対象とした波浪追算から得られた年最大波の経年変化図であり、図中には観測結果(水深18 m)も与えられる。こ

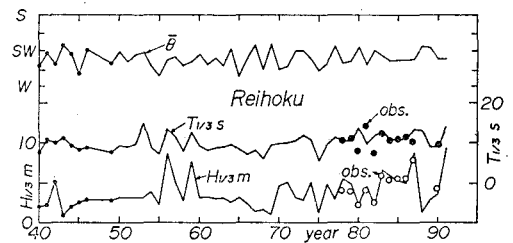


図-8 年最大波高の経年変化(苓北)

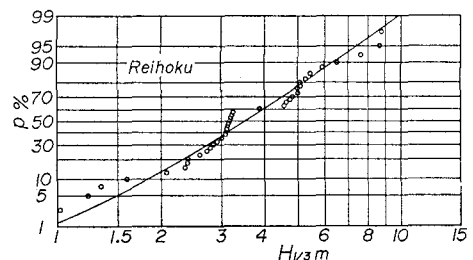


図-9 対数正規分布のあてはめ結果(苓北)

れによると、過去52年の間の最大波高は台風9119号によるものであり、8712号、5612号、5914号がこれにつぐが、既往最大級の異常波浪の波向はWSW～SWに限定される。また、最近15年の間の追算結果と観測結果との対応も比較的良好であることから、年最大波の推定結果全体に対する信頼性も比較的高いとみなされよう。

図-9 は1950年～1987年の38年間の台風に伴う年最大波高に、最尤法で母数を推定した3母数対数正規分布をあてはめた結果を示したものであり、この結果によれば、50年および100年確率波高はそれぞれ8.8m および9.9m、台風9119号時の最大波高9.3mの再現期間は63年と推定される。

(3) 台風経路の影響

台風に伴う強風域は季節風に比べてかなり狭いことから、異常波浪の発生域も限定されることになり、過去数十年の間のすべての台風を対象とした波浪追算を行っても、特定地点の波浪の最大規模を適切に推定できるかどうか疑問である。そこで、台風9119号が台風特性を変えずに本来の経路と異なる経路を通った場合に、苓北での最大波高がどのように変化するかを検討する。表-1 は台風9119号が実際の経路より北に80～240kmあるいは南に80km平行移動した仮想経路を通過した場合の最大波浪の追算結果であり、北に80～160km平行移動した場合には、本来の経路を通過した場合より波高は1m以上大きくなる。これらのことから、同一台風あるいは同程度の規模をもつ台風でも、その経路により特定海域に出現する波浪の最大規模がかなり変動するといえる。

表-1 台風経路の変化に伴う最大波高の変化

経路変化量	波高(m)	周期(s)	波向(°)
北240km	9.6	14.1	122
北160km	10.3	14.3	121
北80km	10.4	14.8	126
9119号	9.3	13.8	124
南80km	5.7	12.0	120

5. 結 語

本研究で得られた成果はつぎのように要約される。

(i) 台風モデル法は台風9119号に伴う風の場を、とくに南西諸島や九州南部において比較的良好に再現する。また、地形分解能を高めた浅海波浪推算モデルの本台風時の波浪に対する追算精度は全般的にかなり良好である。

(ii) 台風9119号は九州西南部沿岸に既往最大波高を上回るほどの異常波浪をもたらしており、その再現期間は少なくとも60年以上であり、地点によっては100年をはるかに越える。

(iii) 特定海域の波浪は台風経路に強く依存することから、台風に伴う波浪の極値を適切に評価するためには、台風経路を考慮した統計的シミュレーションに基づくモデル台風を対象とした波浪追算による検討も今後必要である。

最後に、貴重な風あるいは波資料を提供戴いた九州電力株式会社、四国電力株式会社、建設省九州地方建設局大分工事事務所、運輸省第3港湾建設局高知港工事事務所、防衛大学校土木工学科重村利率教授、航空・海上自衛隊、福岡管区気象台および海上保安庁各航路標識事務所を始めとする関係各官庁ならびに図の作成に協力戴いた愛媛大学工学部土木海洋工学科大福 学技官に謝意を表するとともに、五洋建設株式会社より研究費の補助を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄 (1984): エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて、第31回海岸工学講演会論文集, pp. 123-127.
- 山口正隆・畑田佳男・小淵恵一郎・日野幹雄 (1987a): 波浪推算に基づくわが国太平洋岸での台風発生最大波高の地域分布の推定, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp. 131-140.
- 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博 (1987b): 一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp. 151-160.
- 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博 (1987c): 波浪推算に基づくわが国太平洋岸西部での台風発生最大波高の沿岸分布の推定, 土木学会論文集, 第387号/II-8, pp. 281-290.
- 山口正隆・畑田佳男・池田 章・早川 淳 (1989): 台風8712号に伴う異常波浪の追算, 土木学会論文集, 第411号/II-12, pp. 237-246.