

波浪推算値に基づく日本沿岸波浪の出現特性について

川口 浩二*・橋本 典明**・鈴山 勝之***

近年, WAM や SWAN に代表される波浪推算モデルの高精度化が進み, また, ECMWF や NCEP などの諸機関から長期間の信頼性の高い気象データが入手可能となり, 過去数十年に遡って高精度な波浪推算が容易に行える。これまで波浪推算は特定の期間や気象擾乱を対象にしてきたが, 現在では上記の気象データを基に実施した長期間の波浪推算値を用いて波候統計などの長期統計の検討も可能である。本研究は 8 年間の波浪推算値を基に日本沿岸および周辺海域の波浪の出現特性を明らかにした。また, これらの出現特性と同様な結果が観測値からも得られたことから, 波浪推算値を基に波候統計を検討することは極めて有用な手段であることが確認できた。

1. はじめに

近年, 第三世代波浪推算モデルの WAM や SWAN に代表される波浪推算モデルの高精度化や, ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), NCEP (The National Centers for Environmental Prediction) などといった諸機関から信頼性の高い気象の客観解析データが比較的容易に入手可能となるなど, 高精度な波浪推算が容易に行える環境になってきた。これまで波浪推算は, 沿岸域を対象に港湾・海岸構造物の被災原因の究明や波浪観測の欠測データの補完, あるいは既往の気象擾乱を対象として実施する設計波算定などの目的で実施される場合が多かった。しかしながら, 上記のような諸機関から過去数十年間に溯って信頼性の高い気象データが手に入る今, これらの気象データを基に波浪推算を行うことで, 波浪観測と同等あるいはそれ以上の信頼性の高い, 長期間かつ空間的に密で広範囲な波浪データが得られる。その結果, 波浪観測の歴史が浅い地点はもちろんのこと, 全く観測をしていない地点や, 波浪データを得ることが困難な外洋をも含め日本周辺海域における長期的な波浪の出現特性 (波候統計) などの検討が波浪推算を用いることにより可能となる。

本研究は, ECMWF による海上風の客観解析値と第三世代波浪推算モデル (WAM) を用いた長期間にわたる波浪推算を実施し, 得られた波浪推算値に基づき日本沿岸および日本周辺海域における波浪の出現特性について検討した。

2. 検討方法

波候統計などの長期統計は一般に波浪観測値を基に検討されることが多い (広瀬・高橋, 1982, 1983)。波浪観測値を基に波浪の出現特性を検討するには, 一般に連続

で長期間に渡る観測値が必要不可欠である。しかし, 実際には必ずしも全ての波浪を測得できない場合が多い。また, 観測地点によっては観測場所や観測機器が途中で変更されたり, あるいは周辺地形の影響を受けやすい局地性の強い場所で観測されたりして, 波浪の長期統計を行うには不都合である場合も多い。一方, 波浪推算には欠測がなく, 当該海域の波浪の特性を代表する地点を任意に選択できるため, 当該海域での波候統計などを検討する際には, 波浪推算を用いる方が好都合である場合が多いと考えられる。

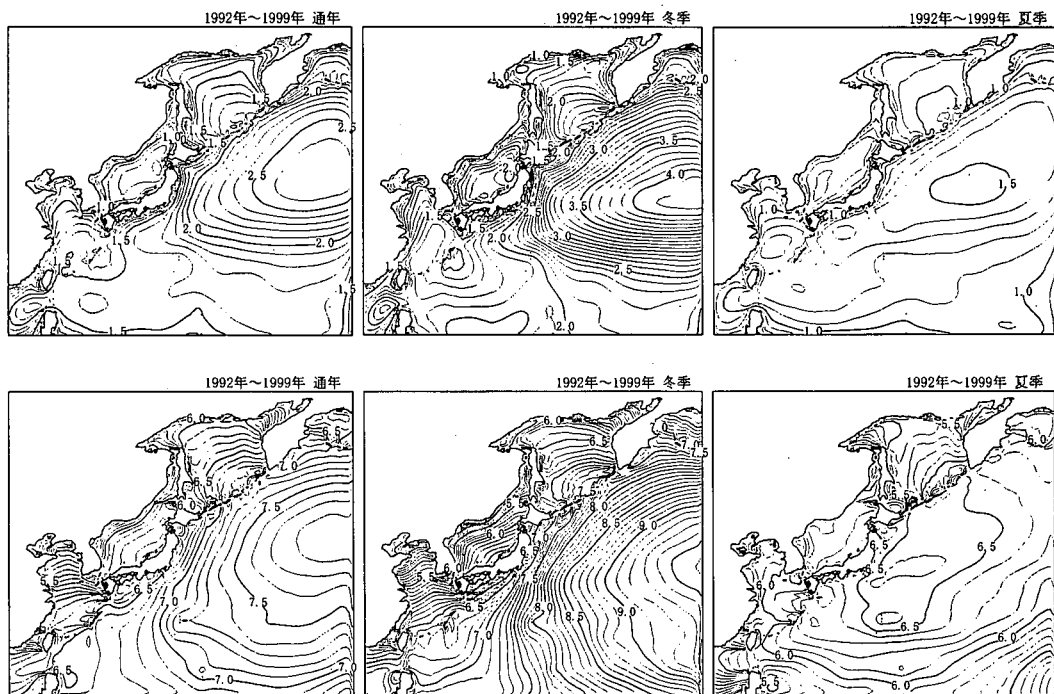
我が国では, 山口ら (1997), 畑田ら (1999) が ECMWF による海上風の客観解析値 (以下では, ECMWF 風データと呼ぶ) を用いた 1 点浅海モデルによる波浪推算を実施し, 外洋に設置された気象庁の波浪観測ブイで得られた波浪観測値と比較する事で波候統計解析における ECMWF 風データの有用性を示している。しかし, 世界標準モデルとなりつつある第三世代波浪推算モデル WAM に ECMWF 風データを適用し, 日本沿岸における波浪の出現特性を検討した例はまだ少ない。

本研究は, 日本沿岸全 18 地点 (対象地点名・位置については後述の図-3 を参照のこと) を対象に 1992~99 年の全 8 年間の ECMWF 風データを WAM に適用して波浪推算を実施し, 得られた波浪推算値を基に有義波諸元や高波浪の継続時間や出現頻度など, 日本沿岸および外洋を含めた日本周辺海域における波浪の出現特性を, 海域別, 季別などで検討した。また, その結果の妥当性を検討するため, 同期間の日本沿岸各地における全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) による波浪観測データとの比較も行った (ただし, いわき沖については観測終了の 1996 年 3 月まで)。なお, 波浪推算の計算領域は北緯 20~45 度, 東経 130~155 度 (いずれも 0.5 度間隔) とし, 同領域に対し, 6 時間間隔で ECMWF 風データを与えた。また, 波浪推算結果の出力は 1 時間間隔とし, 観測値との比較は観測地点に最も近い計算格子点上の推算値を用いた。なお, 季節の区分は NOWPHAS 波浪観測台帳に習い, 前年 12 月~2 月を冬季, 3 月~5 月を春季,

* 正会員 工修 (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部海洋水理研究室

** 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部海洋水理研究室長

*** 工修 (株) エコー環境水理部



図一 有義波諸元の平均値の空間分布 (上図：有義波高，下図：有義波周期，左から通年，冬季，夏季)

6月～8月を夏季，9月～11月を秋季とした。

3. 検討結果

3.1 日本周辺海域における波浪の出現特性

ここでは，波浪推算値を基に外洋も含めた日本周辺海域における波浪の出現特性を検討する。

図一は，全8年間の波浪推算値を基に有義波諸元の平均値の空間分布を通年および季別毎(冬季および夏季)に示したものである。まず初めに，平均有義波高の空間分布を見ると，通年では太平洋側の外洋で2.5 m以上であるものの，太平洋沿岸部では1.2 m，日本海沿岸部では1.0 m程度となっている。また，太平洋沿岸部は日本海沿岸部に比べて等波高線が密になっており，日本海側に比べ太平洋側での波高の空間変化が大きいがわかる。また，季別で比較すると，冬季は太平洋側の外洋の広い海域で波高が高く，特に三陸のはるか沖では平均で4.0 mを超えており，等波高線も密になっていることから波高の局地性がかなり高いことがわかる。しかし，太平洋沿岸部での波高の大きさは通年のそれとあまり変わらない。一方，日本海側は，東北地方北部，秋田県の沖合に波高の高い海域があり，沿岸部でも概ね1.8 m程度と通年に比べて波高が高い。しかし，日本海側は太平洋側に見られるような波高の局所性はさほど見られない。また，夏季は太平洋の外洋でも1.5 m以下，沿岸部に至っては1.0 m程度以下と，日本周辺海域全域にわたって波高が

低い。とりわけ日本海側では日本海全域でほぼ同じ値を取り，等波高線から判断しても波高の空間的な変化は全く静穏であることがわかる。

図二は，夏季における平均有義波高の標準偏差の空間分布を示したものである。図一の結果によれば，夏季の平均有義波高は低く，日本周辺海域において空間的な変化がほとんど見られなかった。しかし，図二に示すように夏季における平均有義波高の標準偏差をみると，沖縄南方で標準偏差が高い海域がみられ，同海域で波高のばらつきが大きいことがわかる。これは台風の影響と推察される。なお，夏季以外は波高の大きな海域と対応して標準偏差が高い海域が広がっており，太平洋の外洋で標準偏差が高くなっている。

つぎに，図一に示す平均有義波周期をみると，通年では太平洋の外洋で7.5秒を超え，太平洋沿岸部では6.5秒，日本海沿岸部では6.0秒程度である。また，季別で比較すると，冬季は，太平洋側の周期は波高と同様に周期の値自体は通年と比較してさほど変わらないものの，波高と同様に等周期線が密になっており，海域による周期の変化が大きいが，日本海沿岸部は概ね7.0秒程度で通年と比較して周期が長く，しかも等周期線が密になっていることから周期の局地性が高い。一方，夏季は，太平洋側で6.5秒，日本海側で5.5秒程度と通年と比べてやや短く，両海域とも海域による周期の変化はさほど見られない。

以上のことから、日本周辺海域は太平洋側の外洋で波高が高く、かつ周期が長い波浪特性を有しており、この傾向は冬季により顕著になる。一方、沿岸部は太平洋側・日本海側共に冬季の波高が高く、この傾向は日本海側で特に顕著であり、日本海側では周期も長く、波浪の局地性がある。

また、太平洋側では夏季にはややその傾向が弱くなるものの、年間を通して波浪の局地性があることなどが明らかとなった。

3.2 日本沿岸における波浪の出現特性

ここでは、波浪推算値に基づき日本沿岸における波浪の出現特性について検討を行うとともに、同期間における波浪観測値との比較を行う。

(a) 有義波諸元の出現特性

図-3は、全8年間の波浪推算値を基に日本沿岸18地点における有義波諸元の平均値と標準偏差を年間および季別に示したものである。なお、比較のため同期間に測得された観測値による結果もあわせて示している。

図-3より、波浪推算値による平均有義波高の出現特性は、夏季にやや低いものの年間を通じてほぼ一定という太平洋側の波浪特性や、夏季に低く、冬季に高いといった日本海側の波浪特性がよく表現されている。また、これらの特性は観測値による結果との対応も良好なことから、定性的な波浪特性が推算値によって再現されている

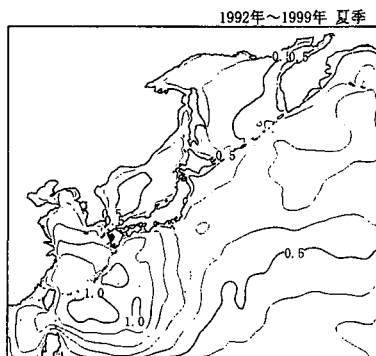


図-2 平均有義波高の標準偏差の空間分布 (夏季)

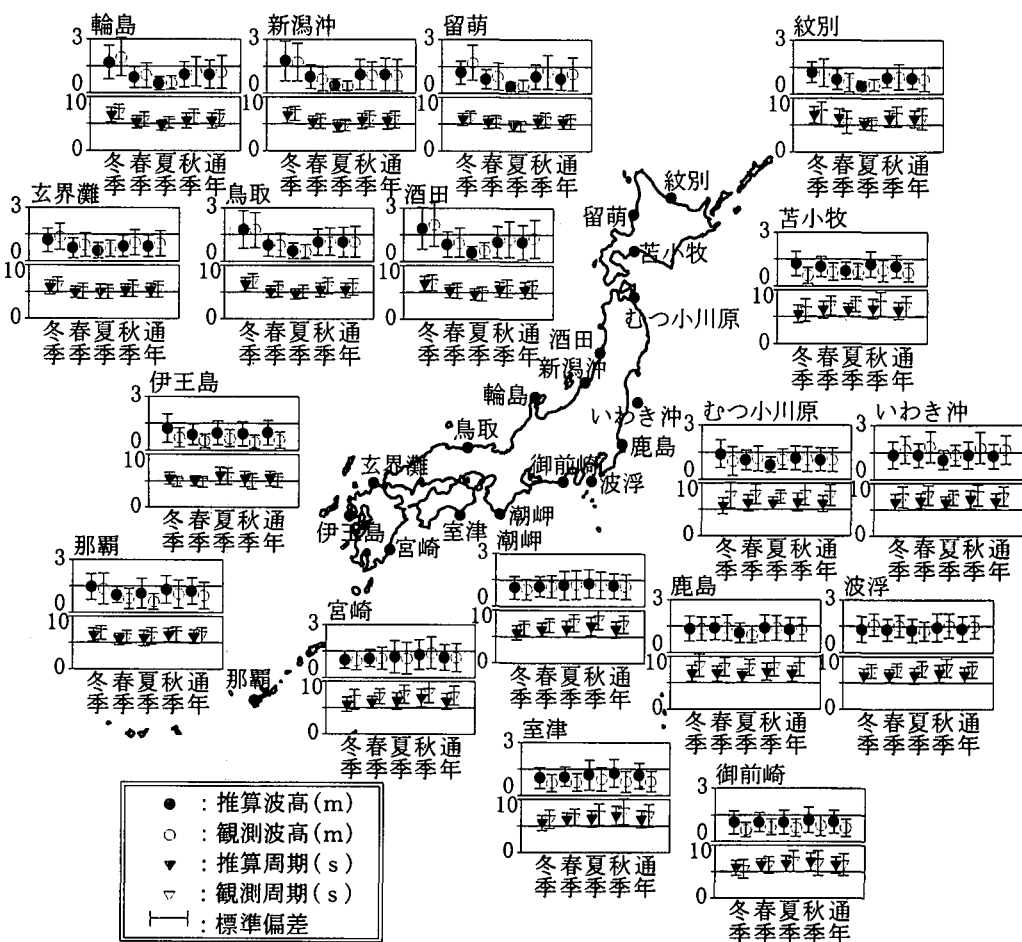


図-3 有義波諸元の平均値の沿岸分布 (季別) (上図: 有義波高, 下図: 有義波周期)

ことがわかる。また、周期に関しても推算値と観測値による結果はよく対応しており、標準偏差は有義波高のそれと比較してかなり小さい。しかし、伊王島や宮崎などでは推算値と観測値との対応があまりよくない。これは上記地点における観測値は地形の影響を受けていると考えられるが、今回の波浪推算で用いた計算格子の空間分解能が0.5°(約50 km)と粗いため、これら地点の周辺地形の影響を必ずしも考慮できていないことが原因と考えられる。また、海域別に比較すると、太平洋側に比べて日本海側の方が推算値と観測値の対応がよい。これはうねり性の波浪の再現性にやや問題があるというWAMモデル自体が持つ特性によって、うねり性の波浪が過小評価されることや、観測値は当該観測ポイントの局所的な値であるのに対し、格子点上の推算値は格子点周辺海域の波高の代表値(期待値)であるため、もともと観測値に比べて推算値が過小評価する傾向があることなどが原因となり、うねり性の波浪が少ない日本海側で精度が高く、うねり性波浪の多い太平洋側で精度がやや低下する傾向があると考えられる。とりわけ、うねり性の波浪の影響を受けやすいと考えられる比較的外洋に位置する太平洋側の波浮やいわき沖など地点でその傾向が強い。

(b) 高波浪の継続時間

表一1は、全8年間の波浪推算値を基に日本沿岸18地点における高波浪の継続時間の期待値を通年および季別に示したものである。なお、表中の括弧書きは同期間の観測値による結果を示している。ここで高波浪とは有義波高1.0 mを超える波高とし、その継続時間は有義波高1.0 mを超えた後、再び1.0 mを下回るまでの時間とした。ただし、継続時間の期待値を求める際、短期間の間に有義波高1.0 mを挟んで波高が上下することによって擾乱数が増加するのを抑えるため、擾乱と擾乱の間の低波浪(有義波高1.0 m以下)の継続時間が6時間未満の場合、その前後の擾乱は同一の擾乱とみなした。

表一1より、通年で比較すると高波浪の継続時間は日本海側に比べ太平洋側の方がやや長いことがわかる。海域別にみると、日本海側は冬季における継続時間が長く、春～夏季にかけて短い。一方、太平洋側は台風シーズンの夏～秋季における継続時間が長いことがわかる。また、推算値と観測値の結果を比較すると、太平洋側に比べ日本海側の方が観測値との対応がよい。太平洋側は日本海側に比べて、うねり性波浪が存在している場合が多く、継続時間という点からすれば、うねりの推算精度は重要な意味を持つ。いわき沖の秋季をみると、推算値による結果が3.6日であるのに対し、観測値による結果は5.0日である。秋季は台風シーズンであり、いわき沖に台風が来襲する前や通過後など、台風から来襲するうねりをWAMが十分に評価できていないため推算による波高が

表一1 日本沿岸における高波浪の継続日数

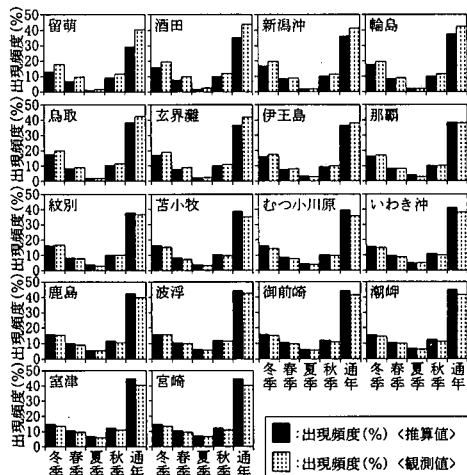
	地点名	通年	冬季	春季	夏季	秋季
日本海側	留萌	2.0(1.9)	2.3(3.1)	1.7(1.3)	1.0(0.6)	2.2(2.1)
	酒田	2.7(2.4)	4.2(4.6)	2.0(1.8)	1.2(0.9)	2.6(2.2)
	新潟沖	2.6(1.9)	4.3(2.9)	1.9(1.4)	1.1(0.6)	2.5(1.7)
	輪島	2.7(2.3)	4.5(4.7)	1.9(1.8)	1.2(0.9)	2.7(2.0)
	鳥取	2.6(1.9)	4.6(3.3)	1.7(1.3)	1.3(0.8)	2.7(1.9)
	玄界灘	1.8(1.6)	2.4(2.2)	1.3(1.3)	1.3(1.1)	1.9(1.6)
	伊王島	2.0(1.0)	2.2(1.1)	1.6(0.8)	2.4(1.2)	2.0(0.9)
	那覇	3.1(1.6)	3.4(2.2)	2.2(1.3)	3.1(0.9)	3.8(1.7)
太平洋側	紋別	2.2(1.4)	2.8(1.9)	2.2(0.9)	1.2(0.9)	2.0(1.5)
	苫小牧	2.3(1.2)	2.2(0.9)	2.2(1.1)	2.1(1.3)	2.8(1.4)
	むつ小川原	2.4(1.9)	2.5(1.4)	2.3(2.1)	1.9(2.2)	2.6(2.0)
	いわき沖	3.1(4.3)	2.4(4.4)	3.4(5.3)	3.1(3.2)	3.6(5.0)
	鹿島	3.3(2.7)	2.8(2.5)	3.6(3.0)	3.3(2.4)	3.9(3.2)
	波浮	3.2(3.2)	2.6(4.0)	2.9(3.7)	3.9(2.3)	3.7(3.2)
	御前崎	2.4(1.3)	1.9(1.0)	2.1(1.1)	3.1(1.3)	3.0(1.6)
	潮岬	2.6(1.7)	1.8(1.1)	2.3(1.6)	3.3(2.2)	3.7(2.0)
	室津	2.4(1.2)	1.6(0.9)	2.0(1.0)	3.1(1.5)	3.4(1.4)
	宮崎	2.6(2.0)	1.9(1.2)	2.3(1.9)	3.0(2.2)	4.1(2.9)

小さく、結果的に継続時間が短くなったと考えられる。また、今回は高波浪の基準を一律1.0 mとしたが、この基準は地点によって意味が違うため、高波基準についても検討の余地がある。

(c) 高波浪の出現特性

図一4は、全8年間の波浪推算値を基に日本沿岸18地点における高波浪の出現頻度を通年および季別に示したものである。比較のために同期間の観測値による結果もあわせて示している。ここでも表一1と同様に有義波高1.0 m以上を高波浪と定義し、各対象期間内において有義波高1.0 mを超えたデータ数を対象期間内の全データ数で割ることが高波浪の出現率と定義した。

図一4より、推算値による高波浪の出現特性は、太平洋側では夏季に出現頻度がやや低くなるが年間を通じてほぼ一定であり、季節変動は小さいことがわかる。一方、



図一4 日本沿岸における高波浪の出現頻度

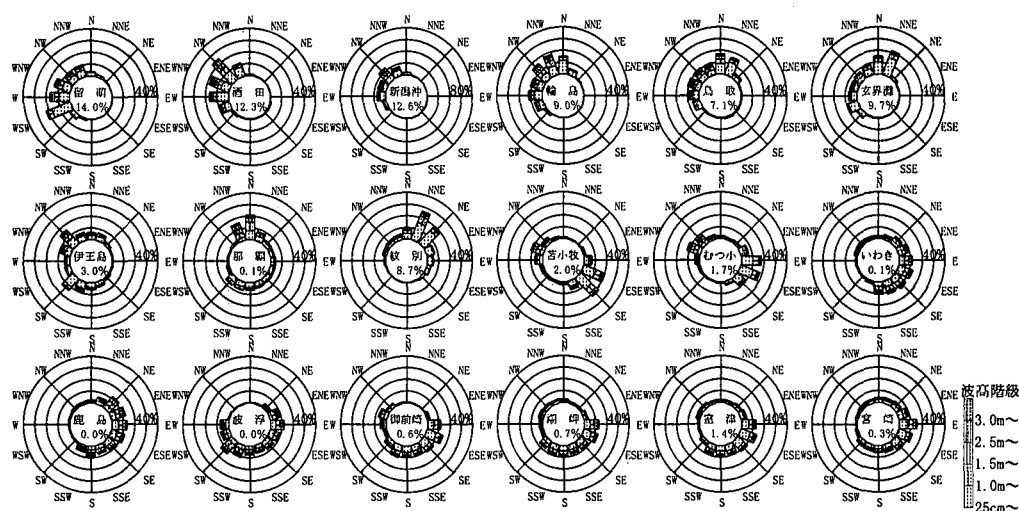


図-5 日本沿岸における波向別の出現特性

日本海側は、夏季に高波浪の出現頻度が極端に低く、秋～冬季にかけて高波浪の出現率が非常に高いことがわかる。このように推算値の結果から季節的な高波浪の出現特性が明確に表れており、これらの傾向は観測値による結果とも概ね一致していることがわかる。しかしながら、伊王島や吉小牧などの地点では推算値と観測値の対応がさほどよくない。これは図-3と同様に波浪推算に用いた計算格子の分解能が局所的な地形を再現するには十分でなかったため、推算値に対する周辺地形の効果を考慮できなかったことに原因があると考えられる。

(d) 波向別の出現特性

図-5は、全8年間の波浪推算値を基に日本沿岸18地点における波向の出現特性を有義波高の大きさと共に示したものである。なお、ここでは有義波高0.25m以下の低波浪時は静穏とみなし波向を定義していない。また、各地点毎の図中央に静穏率を示してある。

図-5より、オホーツク海に面した紋別ではNE、留萌、酒田、新潟沖など日本海に面した地点では、主に冬季季節風によるものと考えられるNW方向を中心にN～SWの間に分布している。一方、太平洋側の地点は、S～SE方向を中心にSW～NEまで広く分布している。これは夏季～秋季における南方海域で発生した台風の接近・通過に伴って、あらゆる方向からの風波やうねりが来襲することによるものと考えられる。また、那覇では日本海側の特性である冬季季節風によるN系の波浪と、太平洋側の特性である夏～秋季にかけて台風に起因すると考

えられるSE～NE系の波浪が合わさった波向特性を有していることがわかる。

4. おわりに

ECMWF風データとWAMを用いた長期間に渡る波浪推算を実施し、波浪推算値に基づいて日本周辺海域および日本沿岸における波浪の出現特性を検討した。その結果、波浪推算値を基に海域毎や地点毎、季節毎の波浪の出現特性が明らかになった。また、これらの出現特性は観測値による結果でも同様に見られることから、波浪推算結果を基に波候統計を検討することは極めて有用な手段であることが確認された。しかし、波浪が地形の影響を大きく受けると想定される地点を対象とする場合の計算格子の分解能の問題やうねり性の波浪の再現性にやや問題があるというWAMモデル自体が持つ特性について再検討の必要がある。

参考文献

- 畑田佳男・山口正隆・大福 学 (1999): 1点浅海モデルおよびWAMによる長期波浪推算結果の相互比較, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 271-275.
- 広瀬宗一・高橋智晴 (1982): 沿岸波浪の出現特性, 海岸工学論文集, 第29巻, pp. 11-15.
- 広瀬宗一・高橋智晴 (1983): 沿岸波浪の出現特性 (その2), 海岸工学論文集, 第30巻, pp. 168-172.
- 山口正隆・畑田佳男・松木太郎 (1997): ECMWF風を用いた長期波浪推算システムの適用性の検討, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 241-245.