

南シナ海ヴィエトナム中部海岸の波浪特性

永井康平*・河野信二**・Dao Xuan Quang***

1. はじめに

ヴィエトナム国においては、既存港のほとんど総てが河川、湾、あるいは潟の中に立地しており、外海に面する海岸での大型港湾の開発は緒に就いたばかりである。

今般、ヴィエトナム国政府の要請に基づき国際協力事業団 (JICA) が行った開発調査 (1997~98 年, OCDI and JPC, 1998) で、当国中部のダナン市、トゥアティン-フエ省、クアンガイ省において、直接、南シナ海に面する海岸で外貿港が計画された。その際、防波堤や防砂堤の計画、設計、建設計画等のために最も基本となる波浪情報を収集した。しかし、この海域では米海軍 (1976)、英国 Hogben 他 (1986)、ヴィエトナム国 Nguyen 他 (1995 a), TEDI (1996)、POWECO (1996) 等、いずれも目視観測に基づく解析資料しか無いため、本調査では 2 カ所に超音波兼水圧式波高計を設置し、波浪観測を実施した。また、波と局所的な風との相関を知るため、陸上 3 カ所で風向風速観測も同時に行った。本観測の具体的な目的は、1) 港湾施設の設計波を設定するための当該海域の異常気象時の波浪、2) 港内静穏度、漂砂のエネルギー、海上工事の適否等を評価するための年間を通じた常時波浪の統計あるいはその季節変動、3) 長周期波のような海域の特徴ある波、等の特性を実測により把握するものである。

これらに関し、従来は不明であった当海域の波浪の貴重な知見が得られたため、ここに報告するものである。

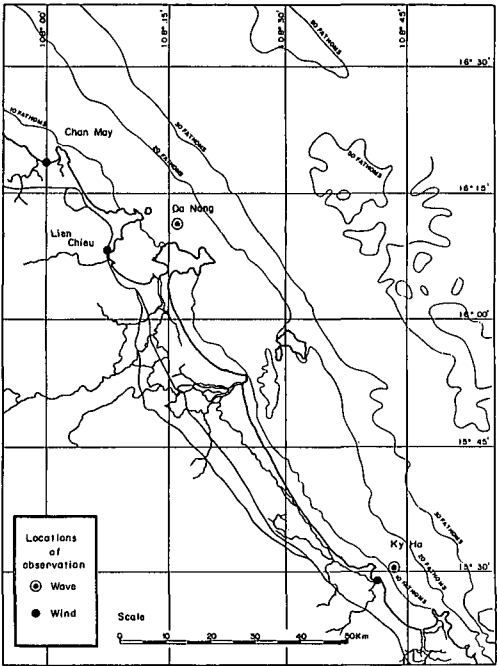
2. 波浪・風の現地観測の概要

波高計 (IO テクニック社製 Wave Hunter 2 台) と風速計 (大田計器社製ダイナヴェーン 1 台、同 P タイプ 2 台) は、表一および図一に示した地点に設置し観測した。両波高計間の直線距離は約 90 km である。波高計はいずれも底置直記型である。設置水深は、ダイバーによる設置・引上げの難易等を考慮し、ダナン湾口では CDL -24 m、キーハー岬沖では CDL -23 m とした。設置場所の

海底土質は粘土質シルトであり、海底勾配はダナンは約 1/700、キーハーは約 1/400 である。測定は超音波および水圧により 2 時間ごと 20 分観測を原則とした。例外としてはダナン湾口で 1997 年 12 月 18 日より 30 日間は潮位観測も兼ね 1 時間ごと 10 分観測を行った。サンプリング間隔は総て 0.5 秒とした。記録は 1~4 ヶ月ごとに回収し、分析した。なお、ダナン湾内の潮汐は平均水位 MSL が CDL+0.9 m, HWL=CDL+1.4 m, LWL=CDL+

表一 波高計と風速計の設置位置と観測諸値

機種	設置場所	経度緯度	水深/高度	観測時間
Wave Hunter 94 Σ	ダナン湾口	E 108 d 15'34.0" N 16 d 11'27.7"	CDL-24 m	97.9-98.2 20 分/2 時間
Wave Hunter Σ	キーハー岬沖 3.2 km	E 108 d 42'44.9" N 15 d 30'06.5"	CDL-23 m	97.4-98.2 20 分/2 時間
Dynavane P-type	ダナン湾奥 リエンチュウ	E 108 d 07'26.0" N 16 d 07'44.3"	地上 5 m	97.4-98.3 10 分/2 時間
Dynavane	キーハー灯台	E 108 d 41'29.4" N 15 d 28'53.6"	地上 25 m	97.4-98.3 連続
Dynavane P-type	チェンマイ海岸	E 108 d 00'08.6" N 16 d 18'42.1"	地上 5 m	97.4-98.3 10 分/2 時間



図一 ヴィエトナム中部海岸の波と風の観測地点

* 正会員 工修 (株)日本港湾コンサルタント 海外業務部
** 正会員 工 沿岸海洋調査(株)解析調査課
*** 工 ヴィエトナム国港湾水路技術コンサルタント (POWECO) 調査部

0.4 m である。なお、波浪の統計解析において、大きな波の場合などで超音波による波形が欠けたときは、その部分だけ水圧による波形に置き換える措置を講じた。

風向風速計は、リエンチュウとチェンマイの物は簡易直読式であり、瞬間最大風速と最低風速を観測した。キーハーでは記録計により瞬間最大風速、10 分間平均風速および瞬間風向を測定した。記録は 2 時間ごとに読み取り、月別に整理、解析した。

3. 測得された異常波浪

観測期間中に測得された最大の波浪は、図-2 に経路を示した台風 9721 (*Fritz*) によるものであった。この台風は 1997 年 9 月 25 日にダナンとズンクワット (キーハー) の中間地点に上陸した。上陸以前の中心気圧 P_c は 980 hPa、推定最大風速半径 r_0 は 46 km である。この台風により発生した最大の波浪は、図-3 に示したとおり、ダナン湾口で有義波高 $H_{1/3}=5.7$ m (同周期 $T_{1/3}=9.7$ s)、波向 E (起時 25 日 12:00)；最高波高 $H_{\max}=9.0$ m (同周期 $T_{\max}=8.7$ s)、波向 ENE (起時 25 日 08:00) である。なお、この台風による風としてはチェンマイの海岸 (地上 5 m 高) で、9 月 25 日 09:20 に瞬間最大風速 34.2 m/s (風向 NE) が観測された。

一方、キーハーでは $H_{1/3}=5.1$ m ($T_{1/3}=8.7$ s)、 $H_{\max}=7.9$ m ($T_{\max}=9.0$ s)、波向 NE (いずれも起時 24 日 22:00) であった。このキーハーにおける波の EMEP 法 (橋本他, 1993) により求めた方向スペクトルの例を図-4 に示した。周期約 10 秒に波向 NE の主成分波が存在する他、周期約 6 秒に波向 N の 2 次的なエネルギーのピーク成分が捉えられている。

観測された第 2 の極値は、1997 年 11 月 1 日より 3 日にかけてインドシナ半島南端の沖合約 50 km を 30 km/hr の速度で東から西へ通過した台風 9726 (*Linda*, $P_c=$

985 hPa) による波である。ダナン湾口では $H_{1/3}=4.1$ m ($T_{1/3}=9.8$ s)、 $H_{\max}=6.5$ m ($T_{\max}=8.3$ s)、起時 2 日 02:00；キーハー沖で $H_{1/3}=4.2$ m ($T_{1/3}=9.8$ s)、 $H_{\max}=6.3$ m ($T_{\max}=9.7$ s)；起時 2 日 10:00 であった。両地点は台風の中心から約 900 km 離れていたことを考慮すると、注目すべき大きさである。衛星写真では中部海岸域も渦巻き状の雲に覆われており、 r_0 が大きかったと判断される。なお、この台風はベトナム南部諸省の海岸部に大きな波浪災害を及ぼしたばかりでなく、沖合での漁船及び船員の喪失数も記録的な数に上った。

4. 記録された長周期波

下に示した図-3 の波浪の経時変化に見られるとおり、1997 年 9 月 15 日にダナン湾口及びキーハー沖で同

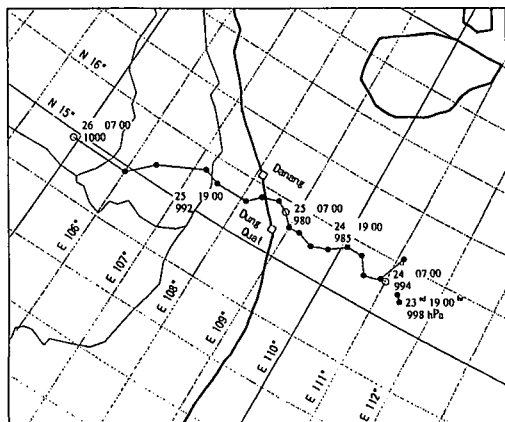


図-2 台風 9721 の経路 (現地時間 1997 年 9 月 23~26 日)

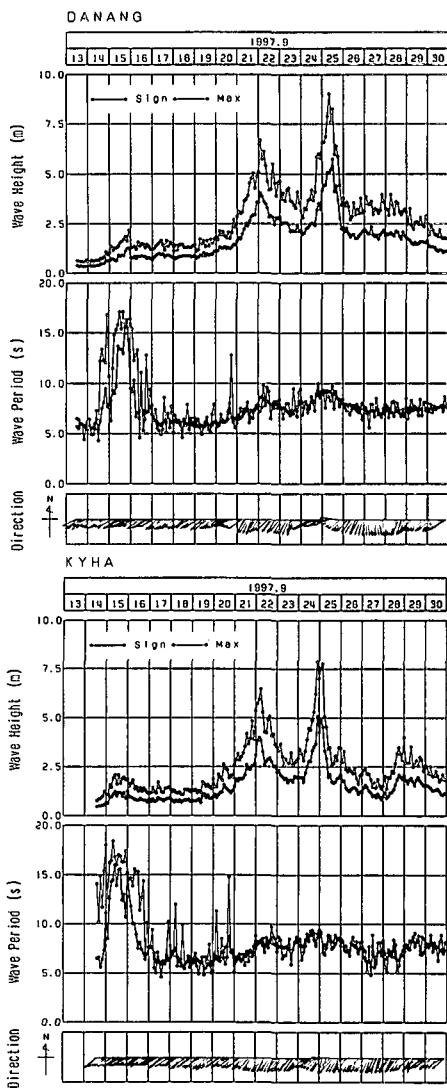


図-3 台風 9721 による波 (超音波記録)

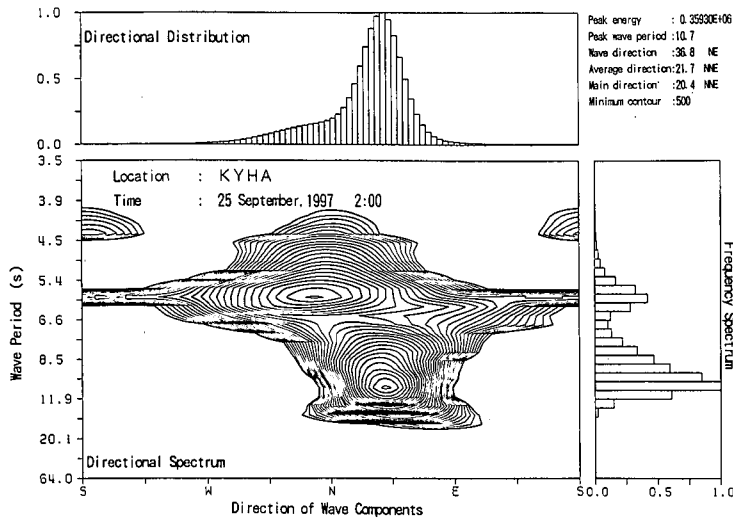


図-4 台風 9721 による波の方向スペクトル

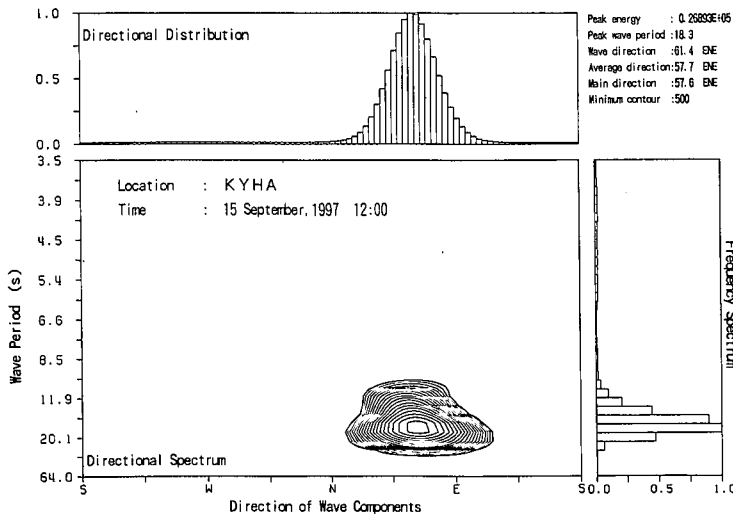
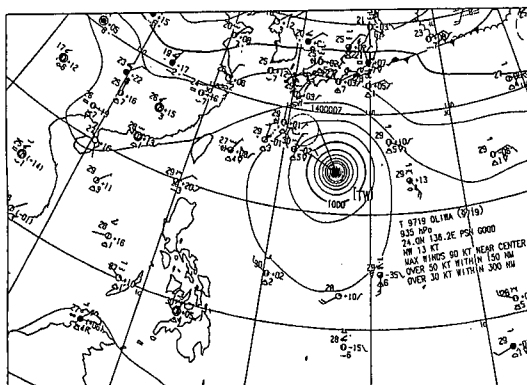


図-5 西太平洋からのうねりの方向スペクトル

図-6 西太平洋の地上天気図
(ASAS JMH, 1997 年 9 月 13 日 00:00 Z)

時に $T_{1/3}=16.0$ s という長周期波が観測された。この時の波高は低く $H_{1/3}=1.2\sim 1.3$ m, 波向はいずれも ENE であった。このダナン湾口での記録の方向スペクトルを示したものが図-5 である。

このような長周期波は、屈折により等深線に直角の波向を示すため、沖での襲来方向は必ずしも ENE と断定できないが、図-6 のような当時の天気図からみて、フィリピン北東海上を北西方向へ進んだ大型台風 9719 (*Oliwa*, $P_c=935$ hPa) で発生し、バシー海峡を通り南シナ海へ伝播したうねりと判断される。その伝搬距離は 3,000 km に達している。観測期間中に測得された総ての $T_{1/3}>10$ s の波の発生状況をまとめると、表-2 の通りであり、ヴィエトナム中部海岸での長周期波は西太平洋上の大型台風を発生源としていることが分かる。

5. 通年の波浪統計

キーハー沖における観測波浪の通年及び季節別の波向別の頻度分布は図-7 に示す通りである。なお、欠測率は全期間を通じて 5.2%, 4~5 月は 5.6%, 6~8 月は 3.4%, 9~11 月は 3.5%, 12~2 月は 8.5% であった。この図中の CALM は、波向の測定精度を考慮し、 $T_{1/3}<5$ s の波の定義した。これより、ヴィエトナム中部の当海域では、4 月から 8 月の波浪は比較的に静穏であり、9 月から 11 月は台風及び北東モンスーンにより波は往々にして非常に高くなり、12 月から 2 月までは北東モンスーンにより波は時々高まることが判明した。

表-2 長周期波と西太平洋上の台風の関係 (1997 年)

月/日 起時	$T_{1/3}$ (s)	$H_{1/3}$ (m)	台 風		P_c (hPa)
			番号	名前	
7/27 1400	12.8	1.1	9709	Rosie	920
8/17 1400	15.3	0.8	9713	Winnie	935
8/30 0800	12.2	1.2	9716	Amber	950
9/15 1000	16.0	1.2	9719	Oliwa	935
10/24 0800	10.5	0.8	9724	Joan	935
12/22 1200	10.8	0.5	9728	Paka	930

6. 長期的な台風波浪の推算

南シナ海においては、台風(最大風速 17 m/s 以上)は南シナ海あるいは西太平洋で発生したものが5月頃から襲来し始め、通常東から西に進み、ベトナム東海岸に上陸する。8~9月にはベトナム北部、9~10月に中部、10~11月に南部に多く来襲する。ベトナム中部海岸には毎年平均2個の台風が上陸する(Nguyen, D. H.他, 1995 b)。

台風による長期的な波浪の統計は、港湾施設の設計波等の設定に不可欠であり、ここでは Is-ozaki 他 (1973) の方法を発展させたスペクトル法(MRI-JWA モデル、気圧分布は同心円近似)による沖波の波浪推算を行った。計算領域は全南シナ海と西太平洋をカバーする広領域(グリッド間隔 $d=100$ km)、南シナ海をカバーする中領域($d=50$ km)、中部ベトナム海岸域 550 km $\times$ 500 km をカバーする小領域($d=5$ km)に分け、ズームング手法を用いた。推算の対象とした台風は、1961年以降の台風より中部海域へ影響を与えたとみられる図-8に示した30台風(統計年数37年)である。

推算の当初において、ダナン及びキーハーにおいて実測された台風9721の波により、モデルの傾度風のパラメータと摩擦係数の設定及び計算精度のチェックを行い、実用に耐えることを確認した。

得られた推算結果を Weibull 分布に適用し、再現期間50年の確率波を求めた。その結果は図-9に示すとおり、ダナン沖で沖波有義波高

($H_{1/3}$) $_0=9.7$ m, 同周期($T_{1/3}$) $_0=13.8$ s, 波向 NE~E と求まった。

この結果によれば、過去37年間の最大の波は、ダナン沖において台風7112(Harriot, $P_c=960$ hPa)による波 $H_{1/3}=10.6$ m ($T_{1/3}=12.9$ s)であったと推定される。米国海軍の統計 U.S. Navy (1976) によれば、ベトナム中南部沖の海域では10月に10 m以上の波高が0.5%未満の確率で発生していることから、上の推計値はほぼ妥当なものと判断される。

なお、台風9721による波の実測値 $H_{1/3}=5.7$ m は、図-9より、統計的には3~4年に1回は起こりうる波であるといえる。

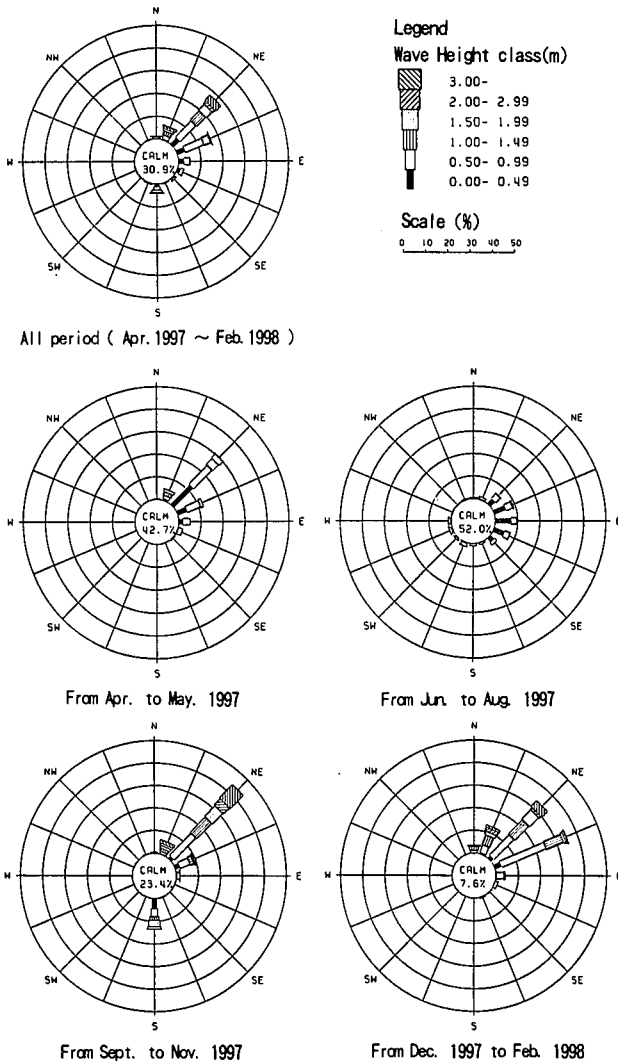


図-7 観測波浪の発生頻度分布(キーハー)

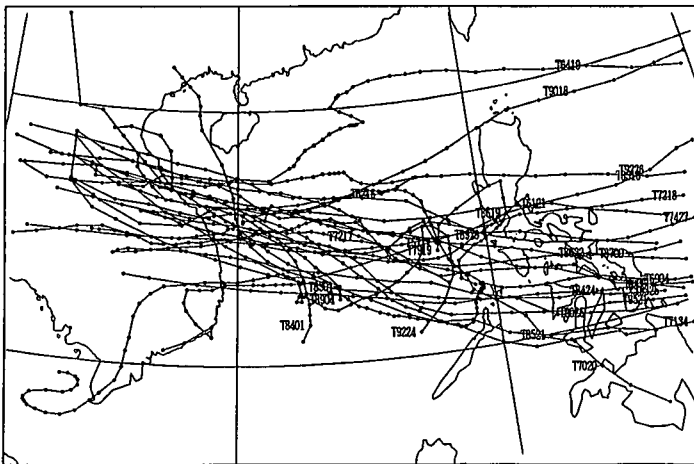


図-8 推算台風の経路(1961~1997年)

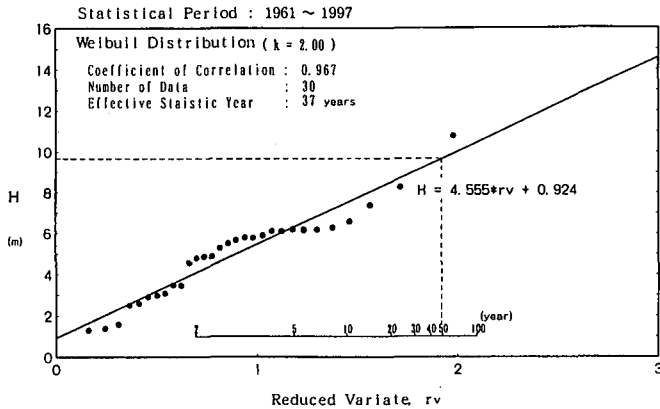


図-9 台風による沖波の統計的推計 (ダナン沖)

7. 陸上風と波との相関

ベトナム中部海岸3カ所で測定した陸上風については、チャンマイ及びダナンでは両所の中間に走っているバックマー山脈等の地形的影響が顕著であり、波との相関を計るのは困難であった。

一方、地形的影響がほとんど無いキーハー灯台上の通常時の典型的な風は、日中の強い日照により、朝になると西風が吹き始め、昼近くから北風となり、夕方までに右回りにSSEまで回転し、夜間は弱まる。10 m/s以上の最大の瞬間風速は午後の東風時に起こる場合が多い。この風とキーハー岬沖で観測した波とは、低気圧の通過時以外は上述の陸海風の影響が強く、相関はかなり低い。

8. ま と め

本調査の波浪の現地観測によって、南シナ海のベトナム中部海岸域における台風による $H_{1/3}=6$ m程度の異常波浪並びに通年及び季節別の波浪の実体とその規模をほぼ明らかにすることができた。長期的には、台風により50年再現期間で $H_{1/3}=10$ m程度の沖波が発生するものと考えられる。これは港湾海岸施設の計画や設計に必須な基礎的情報である。

また、西太平洋の大型台風からバシー海峡を経て伝播する $T_{1/3}=16$ s程度の長周期のうねりの存在が実証された。これは港内の船舶の動揺などの検討に有用であろう。これらの実測値に基づく成果は、観測期間が1年弱と短いながら、当海域では初めて得られたものである。今後、更に長期のデータの集積が期待される。

なお、本調査の現地観測は、ベトナム国港湾水路技術コンサルタント(POWECO)に委託して行ったものである。POWECOは1998年2月一杯で本調査を終了後、キーハー岬沖約6 km(水深26 m)で同じ波高計で観測を継続中であり、1998年3月においては、16日より26日までの間、波が測得された。その結果によれば、 $H_{1/3}=0.5\sim1.5$ m、 $T_{1/3}=3\sim9$ s、波向NNE~ENEであった。

ここで、天気図の収集とスペクトル法による台風の波の推算には(財)日本気象協会の協力を得た。特に同協会調査部海洋調査課三嶋宣明氏の好意に、さらに、台風波浪の統計解析等について協力を得た(株)日本港湾コンサルタント沿岸開発部の藤井充部長以下の全部員諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

最後に、本調査の機会のみならず、実施に当たったの種々のご支援とこの成果の発表許可を与えて頂いた国際協力事業団社会開発調査部及び同ベトナム事務所の関係各位に、ここに記して感謝します。

参 考 文 献

- 橋本典明・永井紀彦・浅井 正・菅原一晃 (1993): 海洋波の方向スペクトルの推定における最大エントロピー原理法(MEP)の拡張, 港研報告, 32巻, 1号, pp. 1-51.
- Hogben, N., N. M. C. Dacunha and G. F. Olliver (1986): Global wave statistics, Unwin Brothers Ltd., 661 p.
- Isozaki, I. and T. Uji (1973): Numerical prediction of ocean wind waves, Papers in Meteorology and Geophysics, Vol. 24, No. 2, pp. 207-231.
- Nguyen D. T., Tran H. T., Nguyen T. H., et al. (1995 a): Report on wave characteristics, Marine Hydrometeorological Center, 70 p.
- Nguyen D. T., Tran H. T., Nguyen T. H., et al. (1995 b): Report on storm characteristics, Marine Hydrometeorological Center, 81 p.
- OCDI and JPC (1998): Final report, Study on the port development plan in the key area of the central Vietnam, Summary and main reports of Lien Chieu, Chan May and Dung Quat, JICA and MOT of Govt. of Vietnam.
- POWECO (1996): Chan May Port-Thua Thien Hue Province, Document of hydrometeorological survey (Pre-feasibility Study). (in Vietnamese)
- TEDI (1996): Report on pre-feasibility study, Dung Quat Port, Economical area of central region. (in Vietnamese)
- U. S. Navy (1976): Marine Climate Atlas of the World, Vol. III Indian Ocean, NAVAIR 50-1 C-530, 348 p.