

Table C. 1 Numbers of Reported and Discarded Big Waves
of $H_w \geq 10m$ and $T_w > 5$ sec.

Year	Discared	Reported
1974	65	309
75	117	324
76	61	306
77	130	498
78	102	269
79	91	417
80	92	391
81	98	314
82	106	611
83	117	711
84	65	496
85	93	397
86	77	564
87	102	494
88	89	384
Total	1405	6485

Remarks: 1) Only NOAA data have been dealt before 1981 since no ID information are supplied for Ship data by JMA.

2) Years mentioned start in March and end in February of the next calender year.

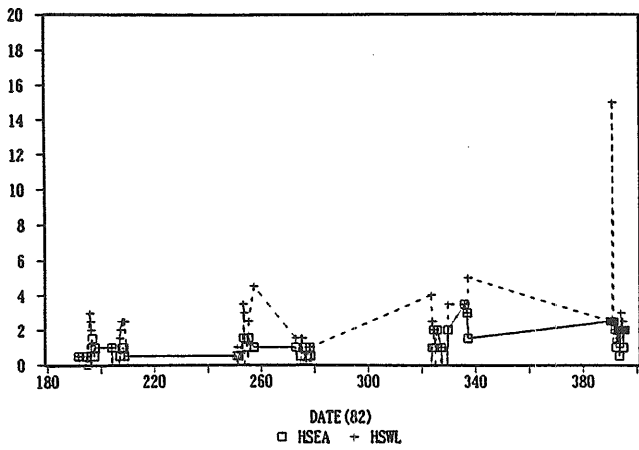


Fig. C. 1 Daily Wave Report by a ship

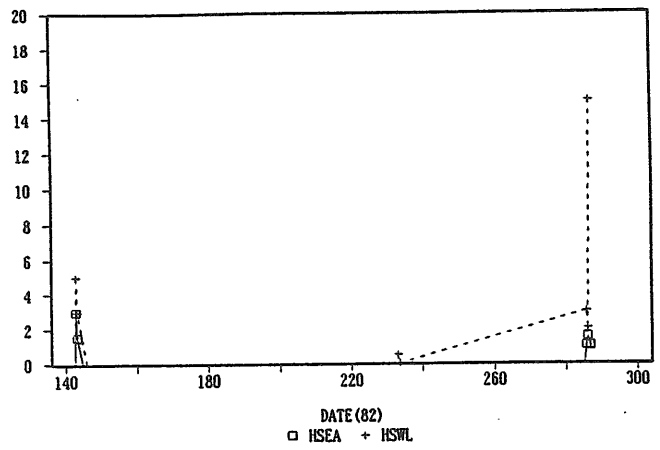


Fig. C. 2 Daily Wave Report by a ship

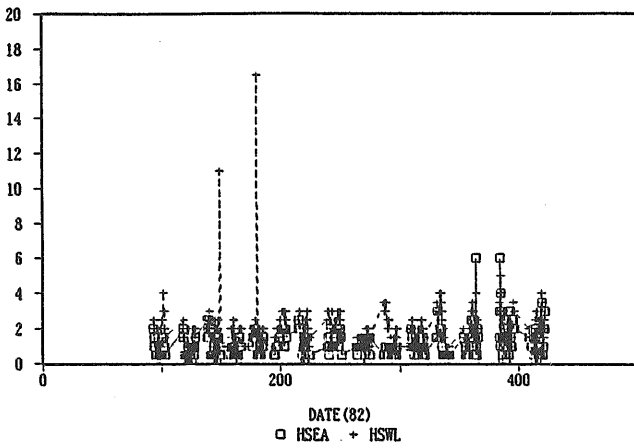


Fig. C. 3 Daily Wave Report by a ship

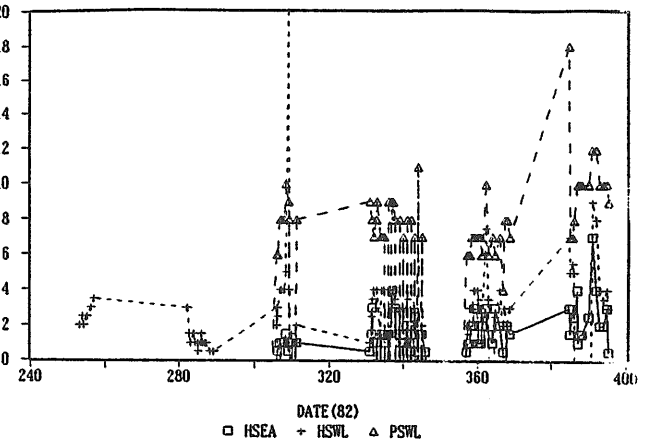


Fig. C. 4 Daily Wave Report by a ship

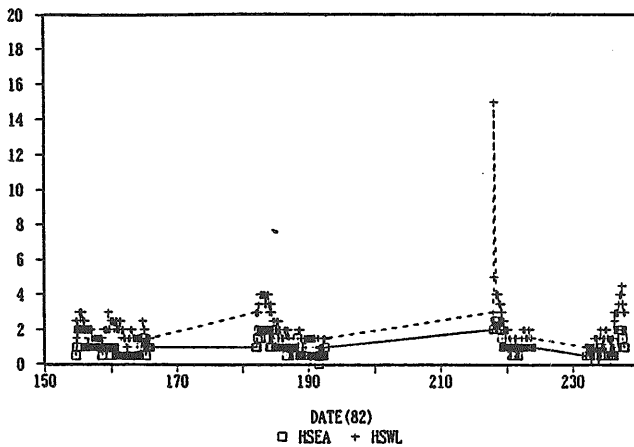


Fig. C. 5 Daily Wave Report by a ship

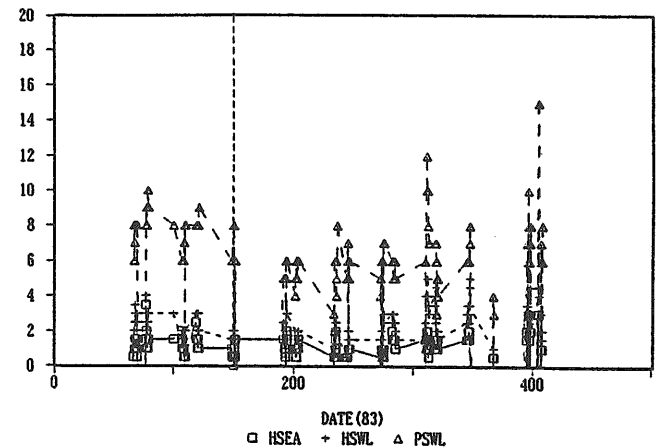


Fig. C. 6 Daily Wave Report by a ship

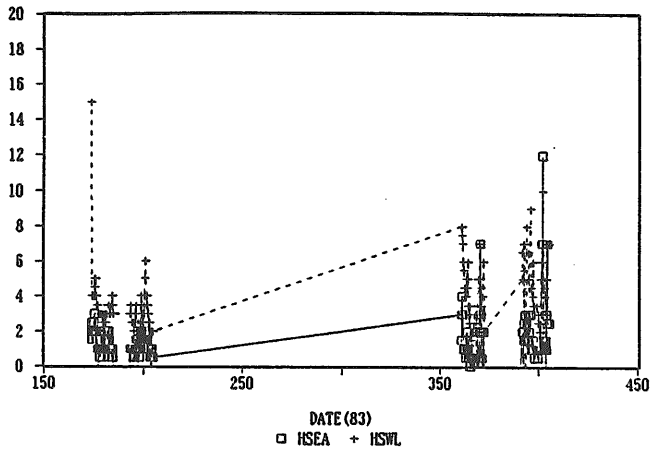


Fig. C. 7 Daily Wave Report by a ship

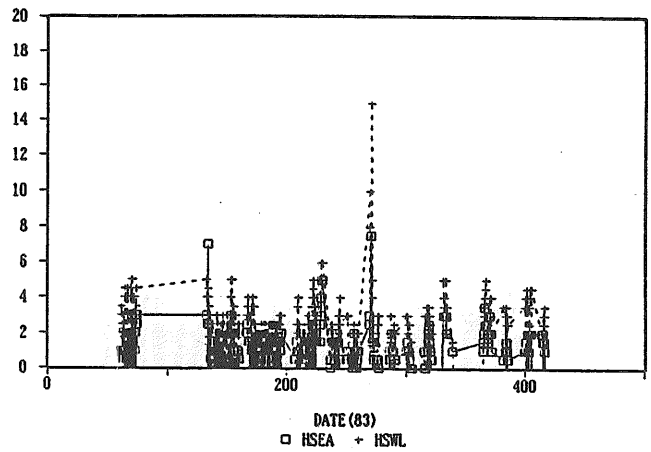


Fig. C. 8 Daily Wave Report by a ship

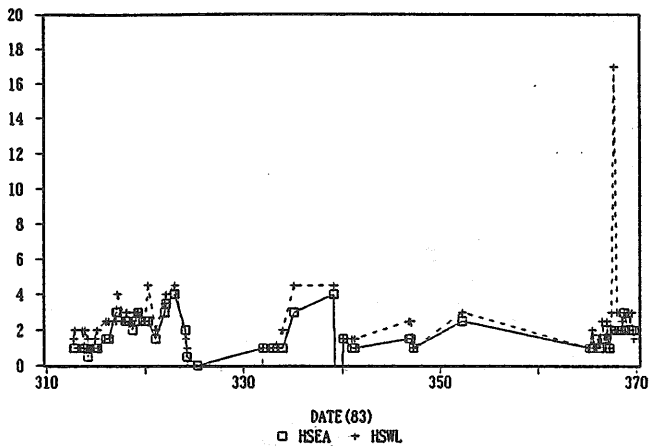


Fig. C. 9 Daily Wave Report by a ship

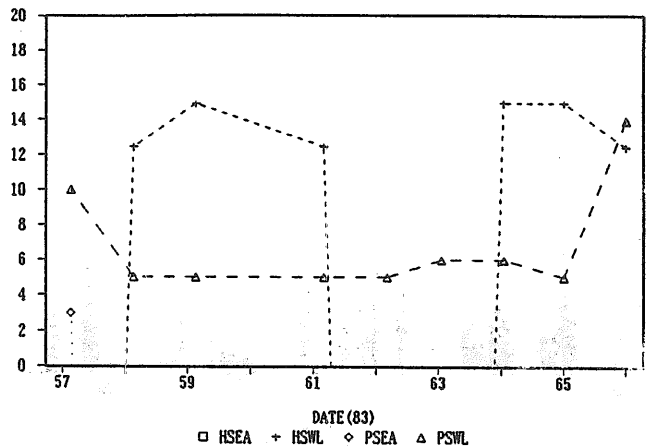


Fig. C. 10 Daily Wave Report by a ship

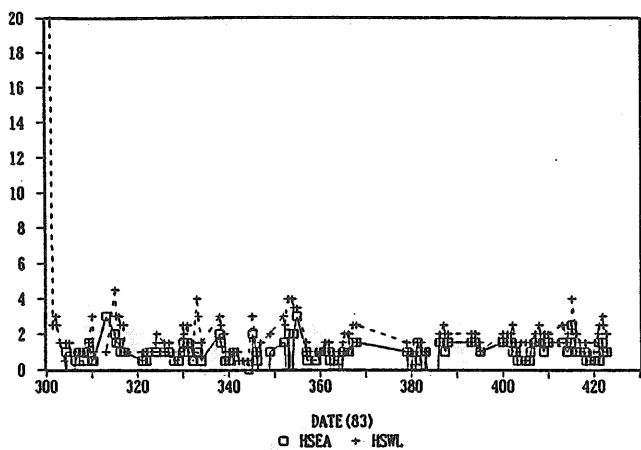


Fig. C. 11 Daily Wave Report by a ship

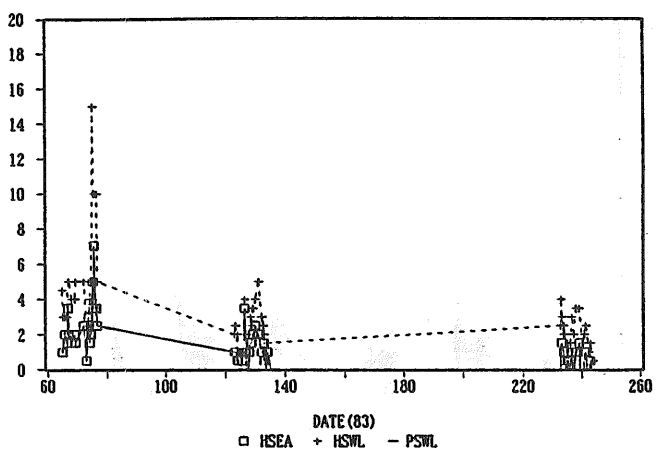


Fig. C. 12 Daily Wave Report by a ship

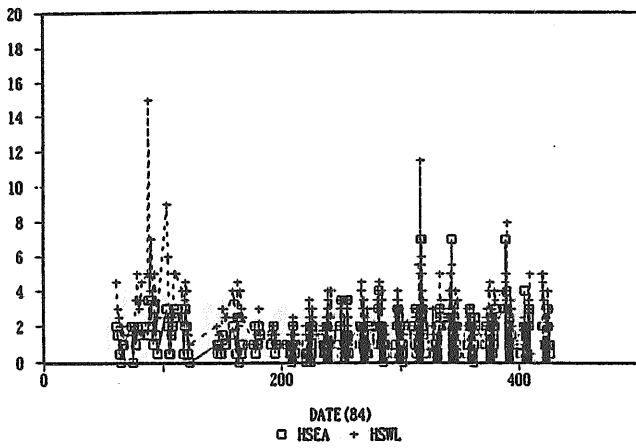


Fig. C.13 Daily Wave Report by a ship

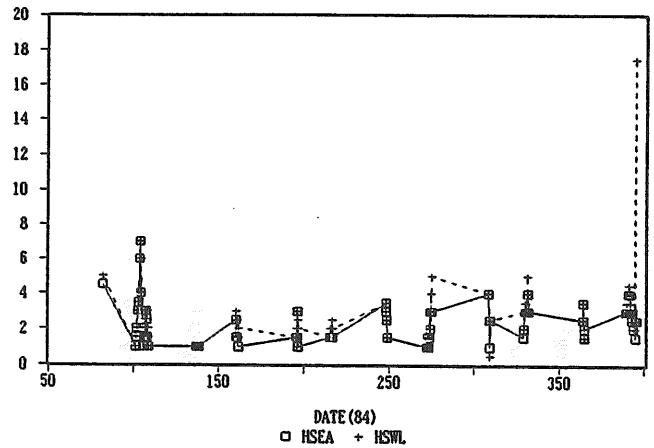


Fig. C.14 Daily Wave Report by a ship

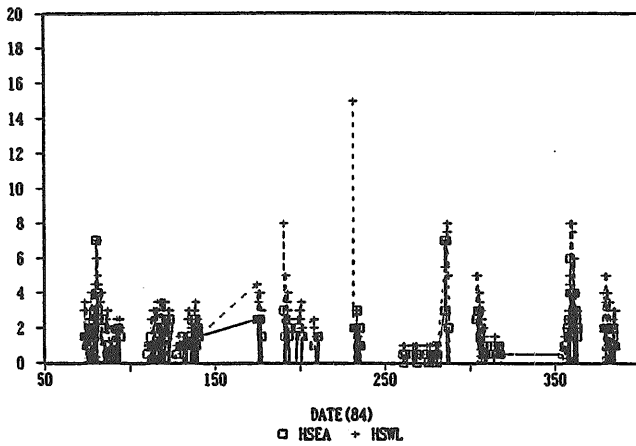


Fig. C.15 Daily Wave Report by a ship

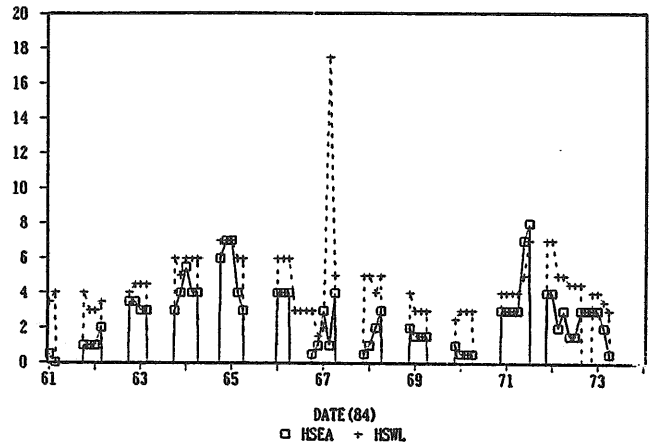


Fig. C.16 Daily Wave Report by a ship

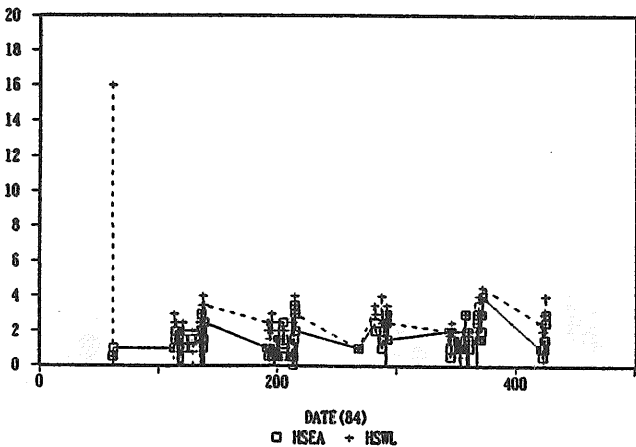


Fig. C.17 Daily Wave Report by a ship

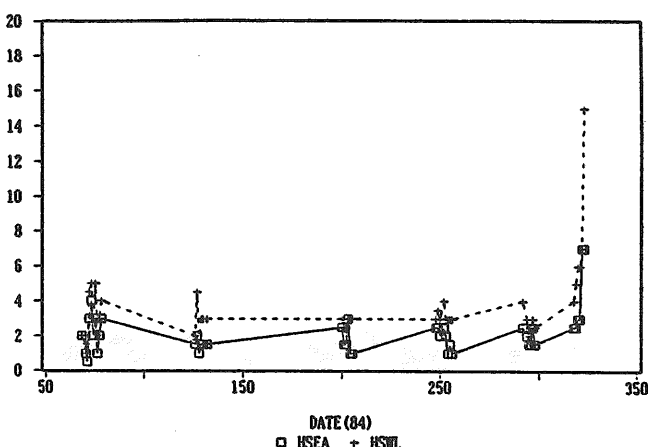


Fig. C.18 Daily Wave Report by a ship

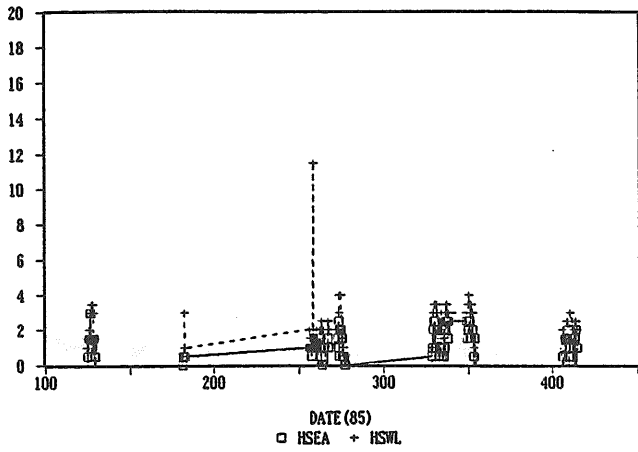


Fig. C.19 Daily Wave Report by a ship

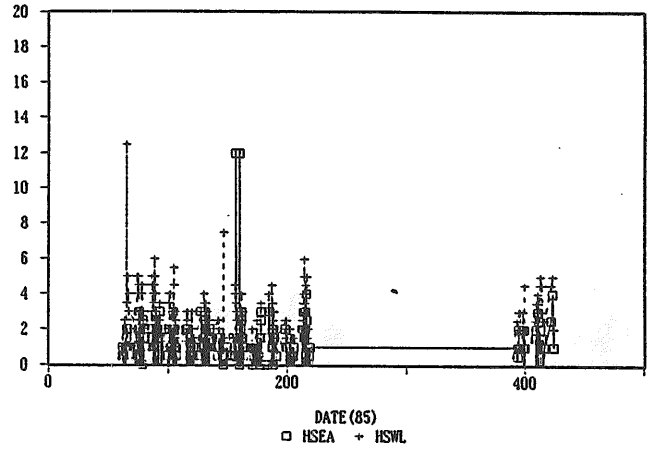


Fig. C.20 Daily Wave Report by a ship

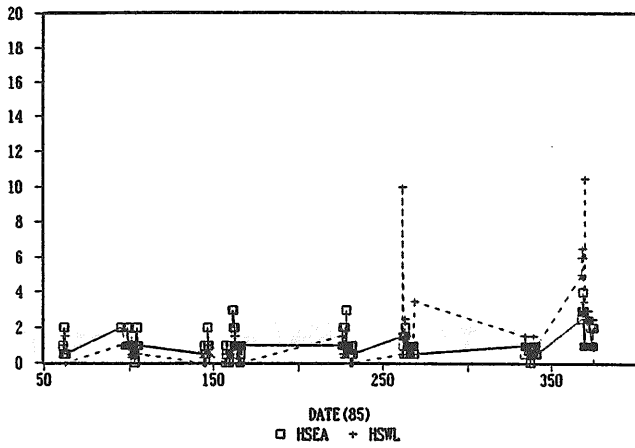


Fig. C.21 Daily Wave Report by a ship

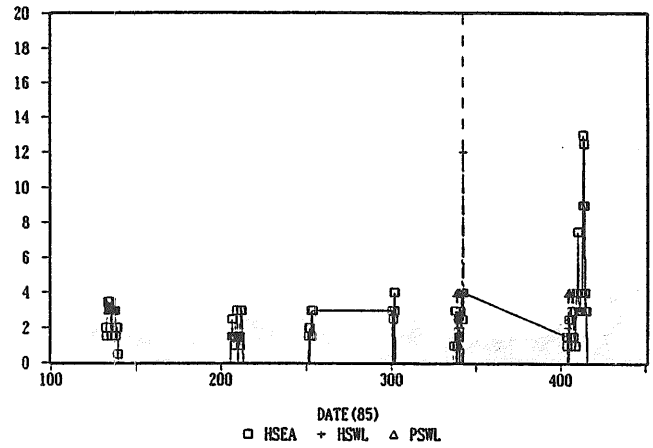


Fig. C.22 Daily Wave Report by a ship

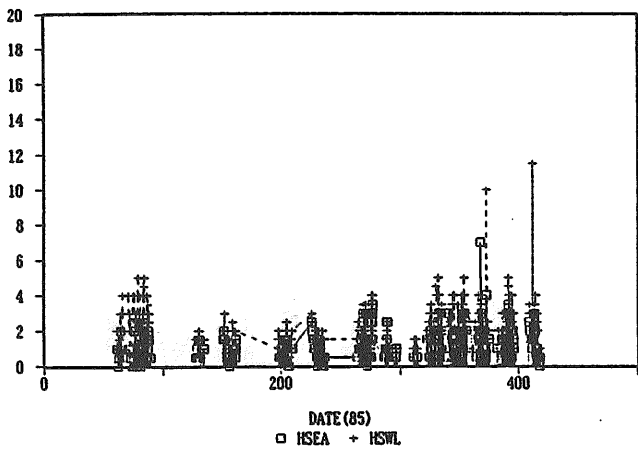


Fig. C.23 Daily Wave Report by a ship

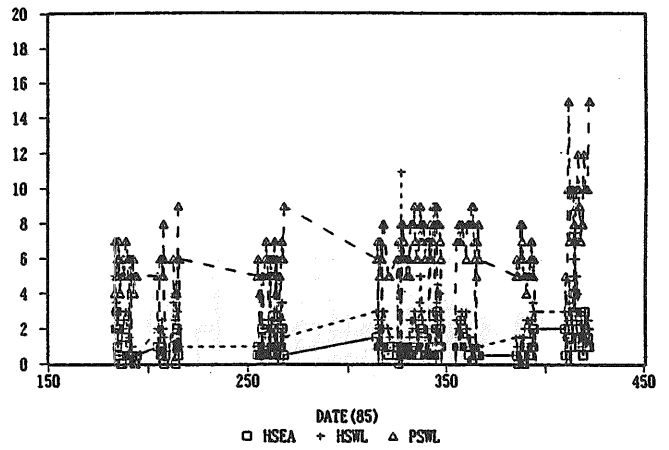


Fig. C.24 Daily Wave Report by a ship

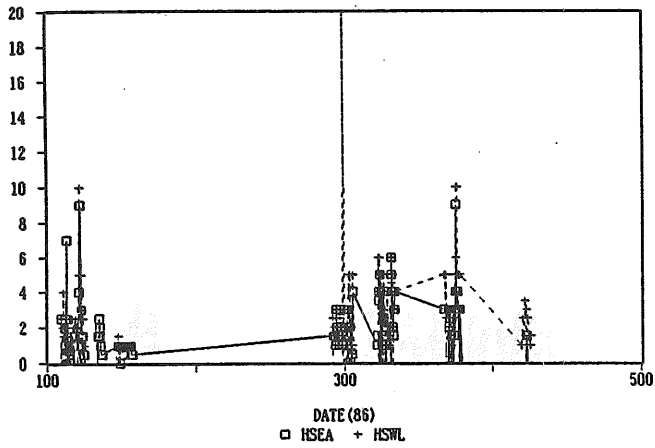


Fig. C.25 Daily Wave Report by a ship

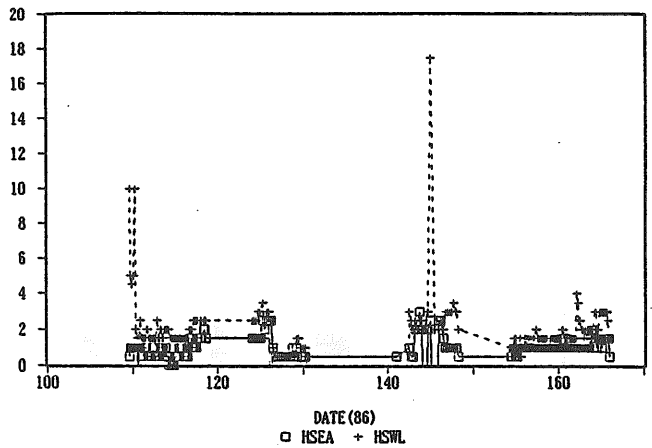


Fig. C.26 Daily Wave Report by a ship

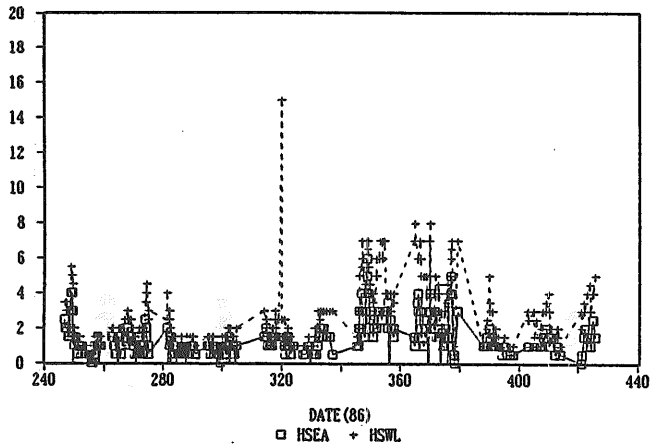


Fig. C.27 Daily Wave Report by a ship

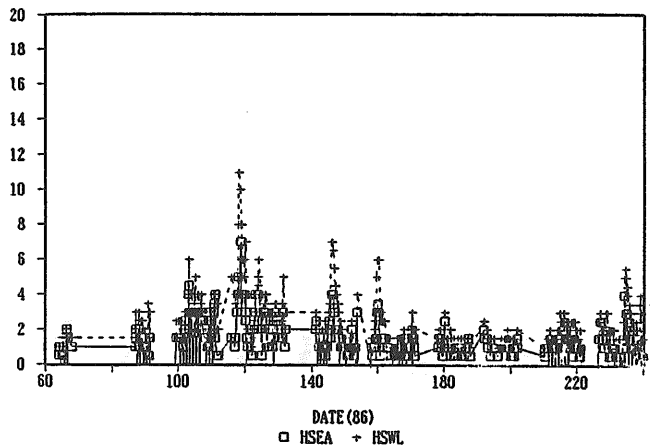


Fig. C.28 Daily Wave Report by a ship

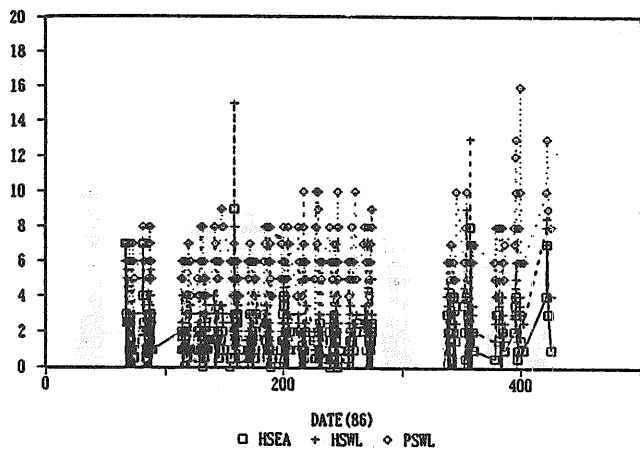


Fig. C.29 Daily Wave Report by a ship

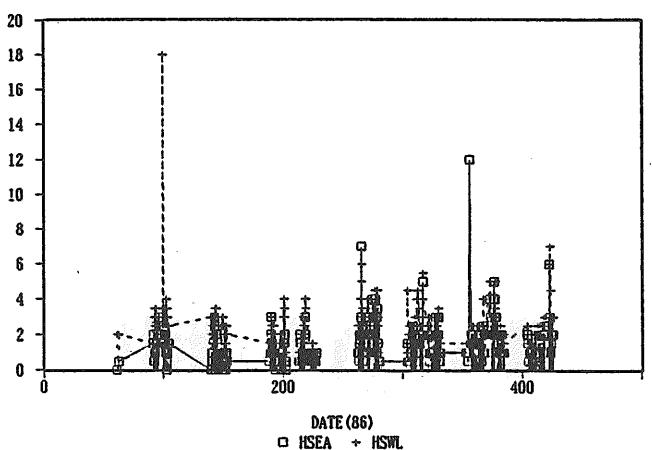


Fig. C.30 Daily Wave Report by a ship

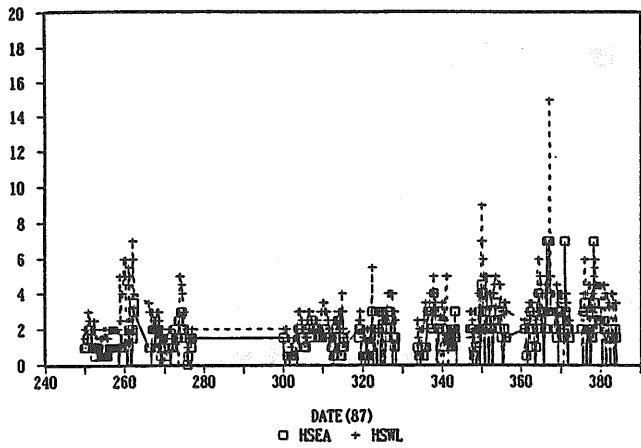


Fig. C. 31 Daily Wave Report by a ship

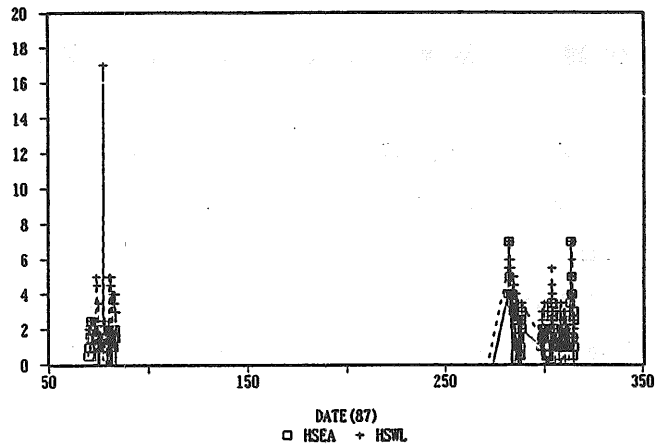


Fig. C. 32 Daily Wave Report by a ship

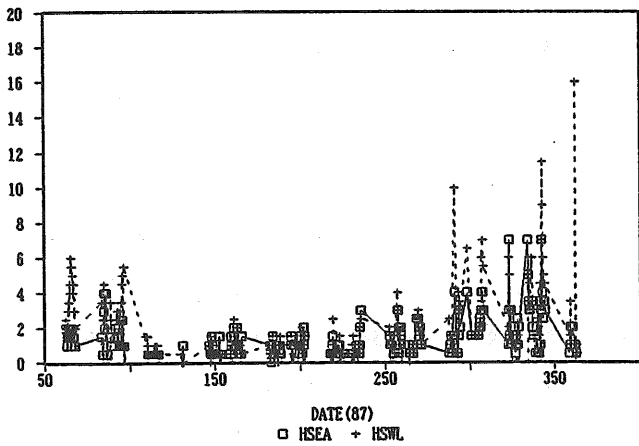


Fig. C. 33 Daily Wave Report by a ship

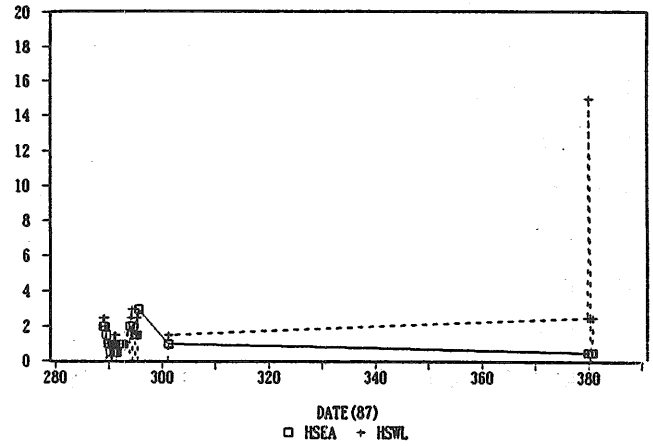


Fig. C. 34 Daily Wave Report by a ship

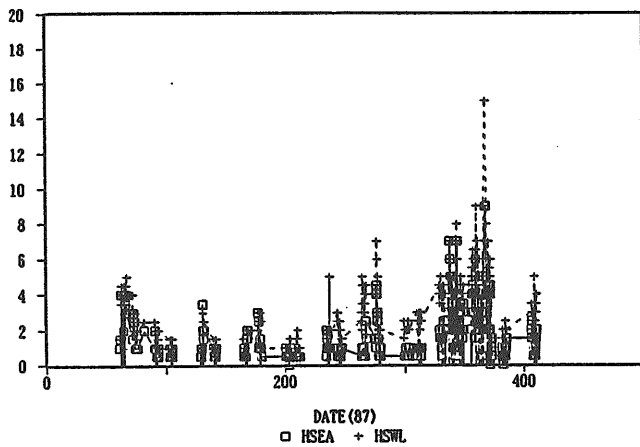


Fig. C. 35 Daily Wave Report by a ship

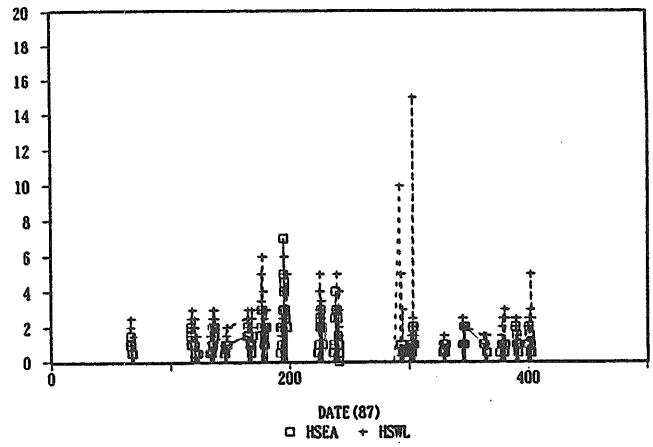


Fig. C. 36 Daily Wave Report by a ship

付録D. 船舶・追算・ブイデータの平均値の月別変化

船舶設計用標準海象データベースを利用すれば種々のデータの抽出が容易に行える。そこで一例としてブイが投入されている海域の波高、波周期、風速の月平均値を抽出し、時系列としてプロットした資料 (Fig. D. 1 - D. 3) を付録に付けておく。図には船舶通報データを1974年から1988年、ブイデータを1978年から1988年、追算データを1980年から1989年までプロットし、横軸は季節年度 (3月から翌年の2月まで) を示してある。またブイデータ等に欠測月がある場合は、線を結ばないことで明示した。

平均波高 (Fig. D. 1. 1 - D. 1. 4) に関しては船舶、追算、ブイデータ共に1年周期の季節変動が見られ、概ね波高は冬季には高く夏期には低くなっている。データ間の一致度は船舶通報と追算が良く、ブイデータは他と比較して高めの値を示している。全体的な傾向として船舶、追算、ブイデータ共に平均波高が年々増加している海域がいくつかみられる。この原因は平均風速の増加にあると推測されるが、現在調査中である。

平均波周期 (Fig. D. 2. 1 - D. 2. 4) についても船舶、追算、ブイデータ共に冬季には長く夏期には短い1年周期の季節変動が見られるが、平均波高ほど明確な季節変化は見られない。特にE海域での季節変動はW海域と比較して小さい結果となっている。また追算の平均波周期は海域を問わず季節変動が少ない。追算の平均波周期は常に船舶通報データより長い値を与えているが、これは追算で5秒以下の波はないと仮定しているためと考えられる。一方、ブイデータはE海域では欠測が多く、値自体も他の二者よりかなり長くなっているが、W海域では船舶通報データと良好な一致を示している。

平均風速 (Fig. D. 3. 1 - D. 3. 4) についても平均波高同様、船舶、追算、ブイデータ共に明確な1年周期の季節変動が海域を問わず見られ、概ね冬季には大きく、夏期には小さい結果となっている。

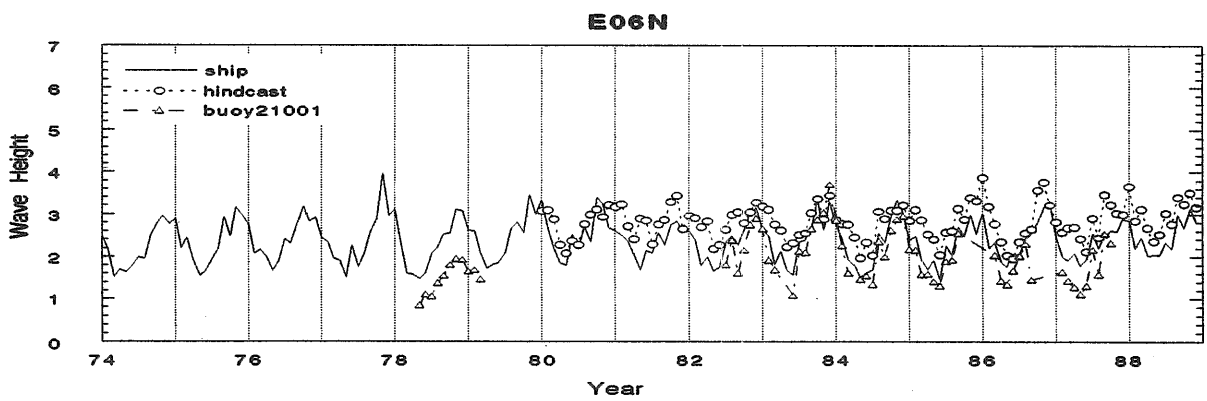
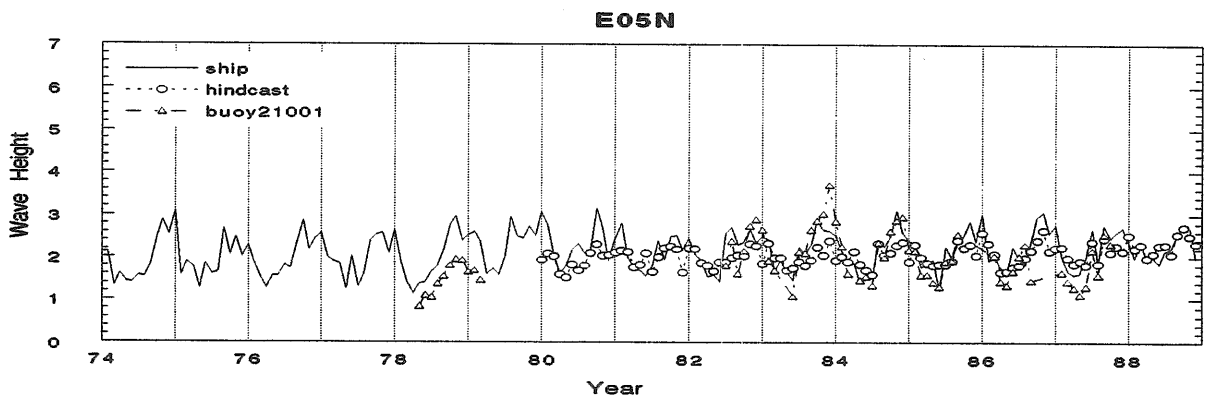
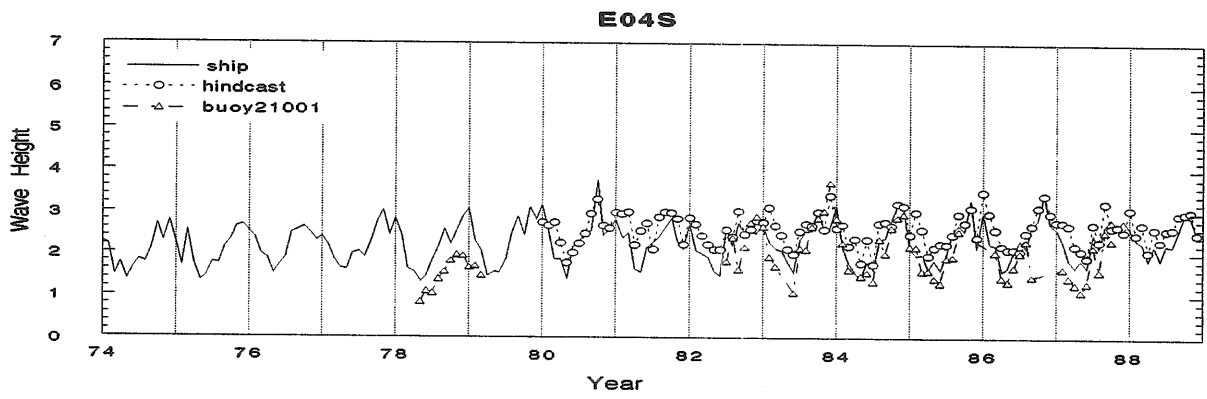
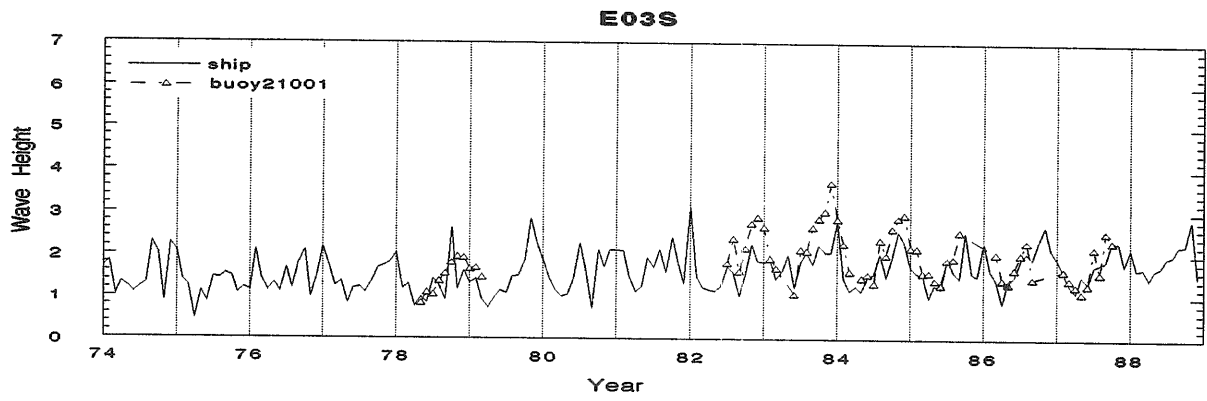


Fig. D. 1. 1 Trends of Monthly Mean Wave Height

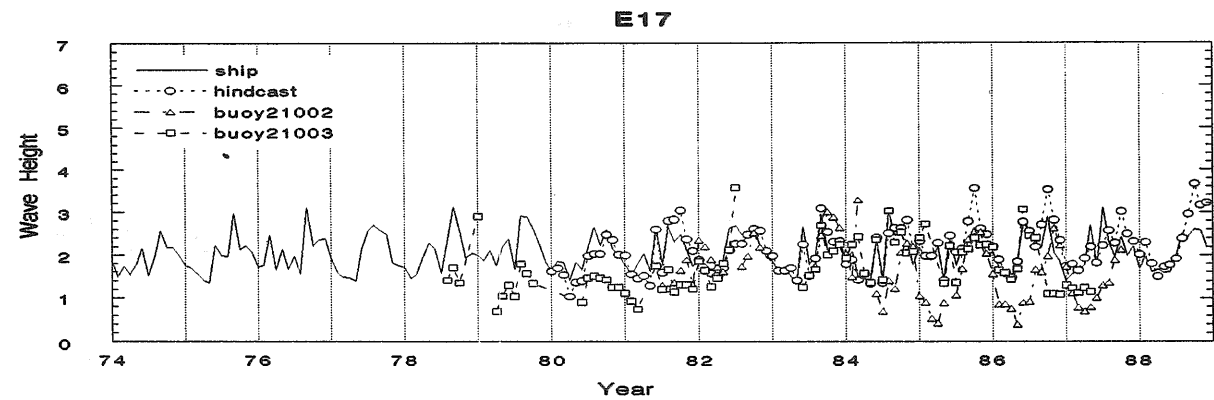
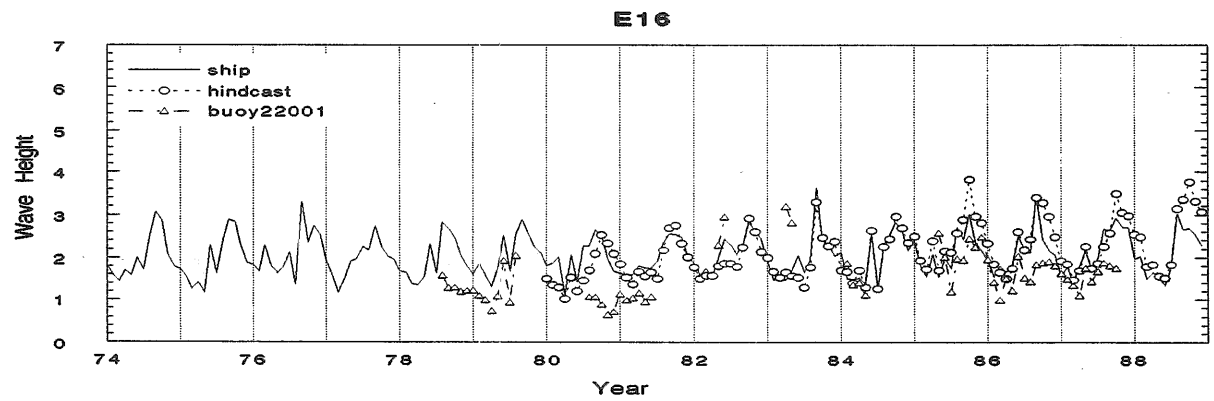
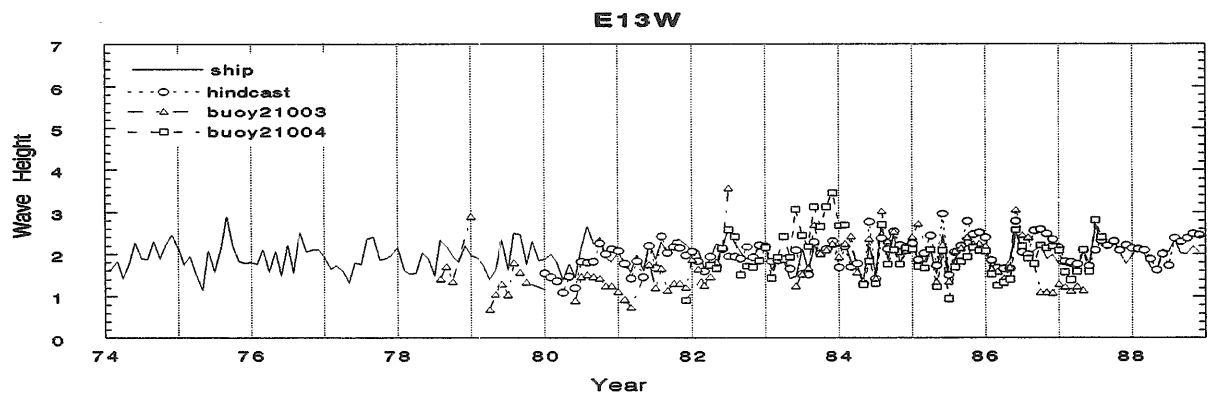
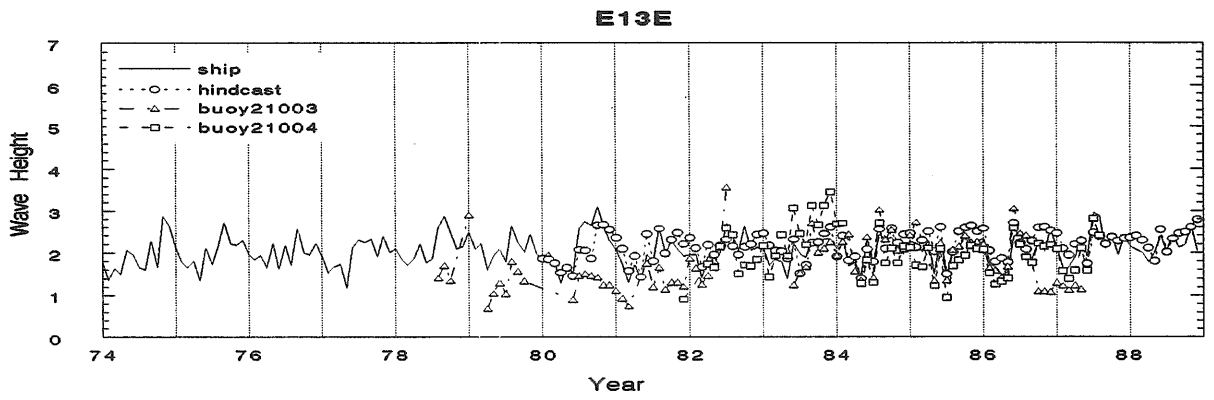


Fig. D. 1. 2 Trends of Monthly Mean Wave Height

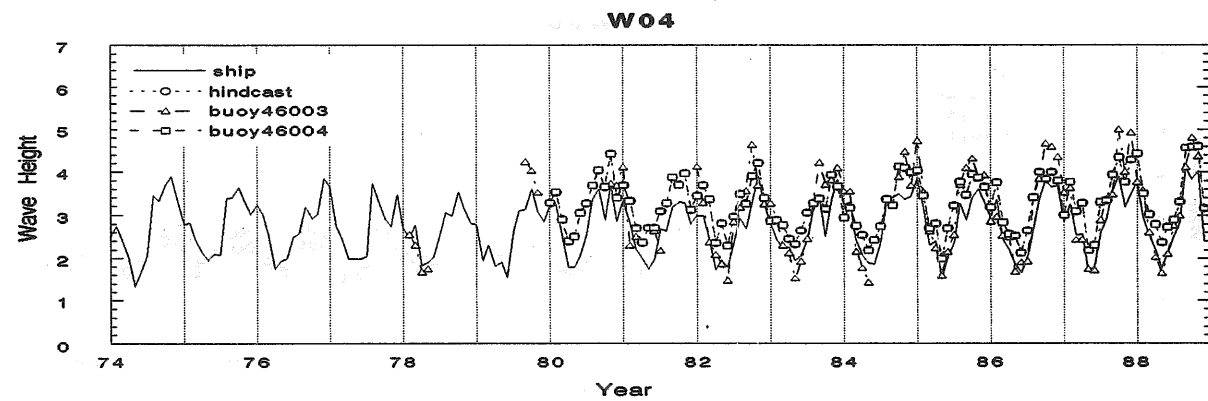
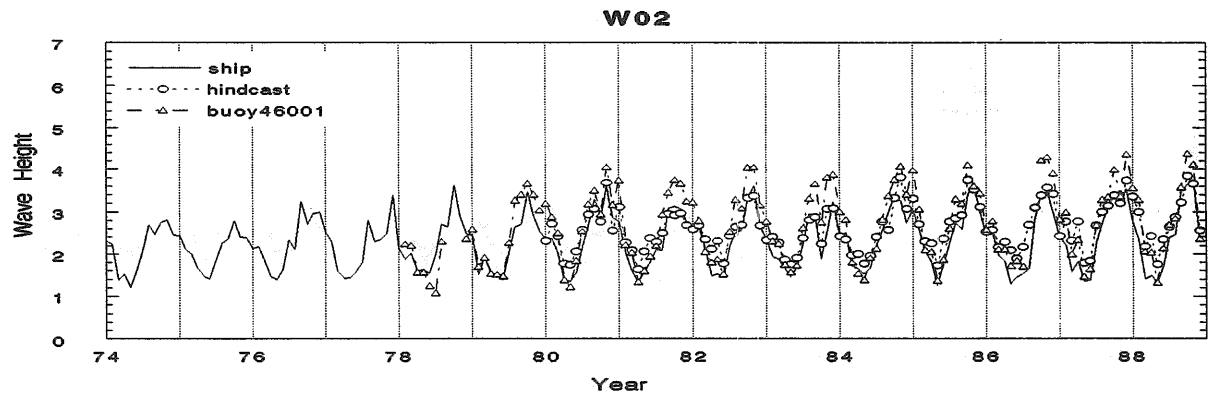
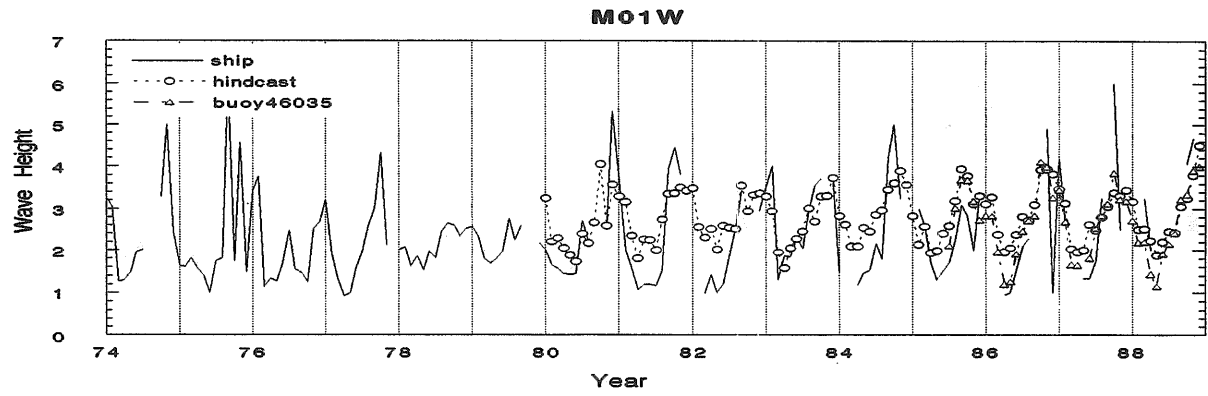
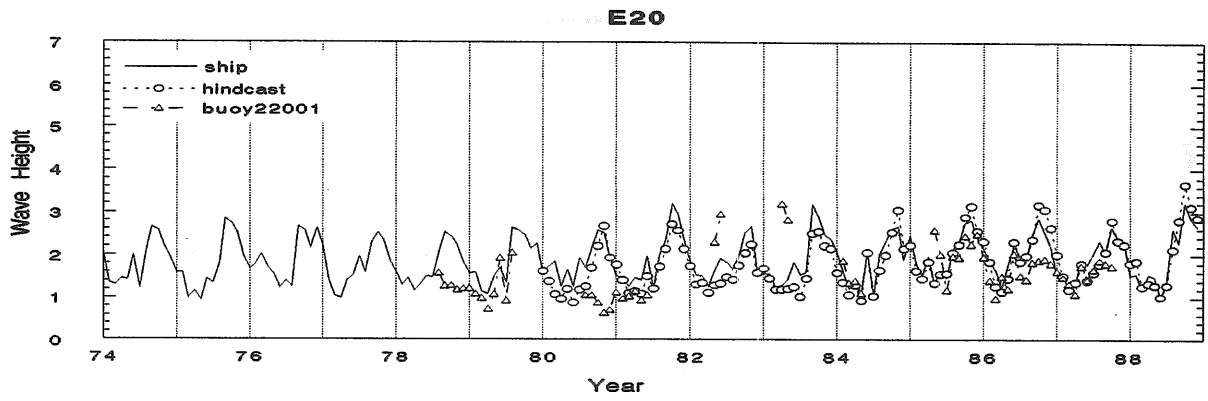


Fig. D. 1. 3 Trends of Monthly Mean Wave Height

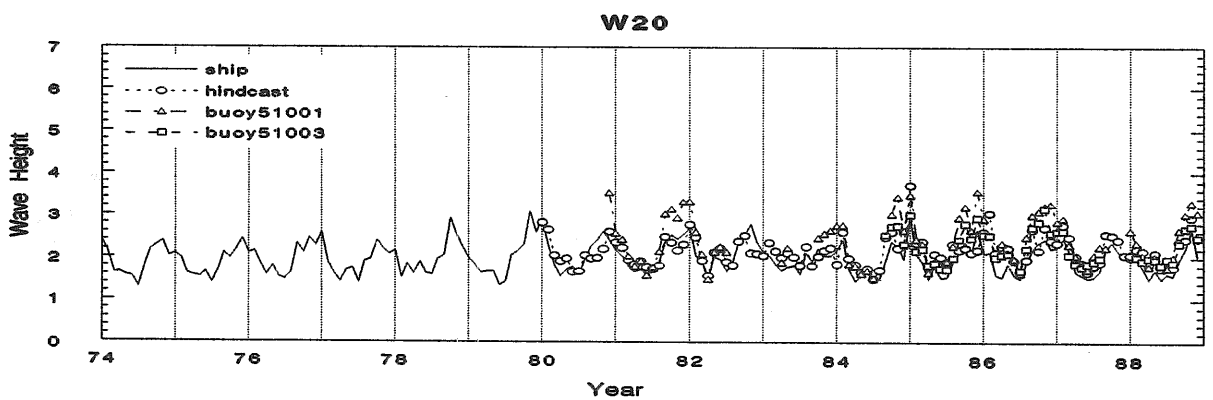
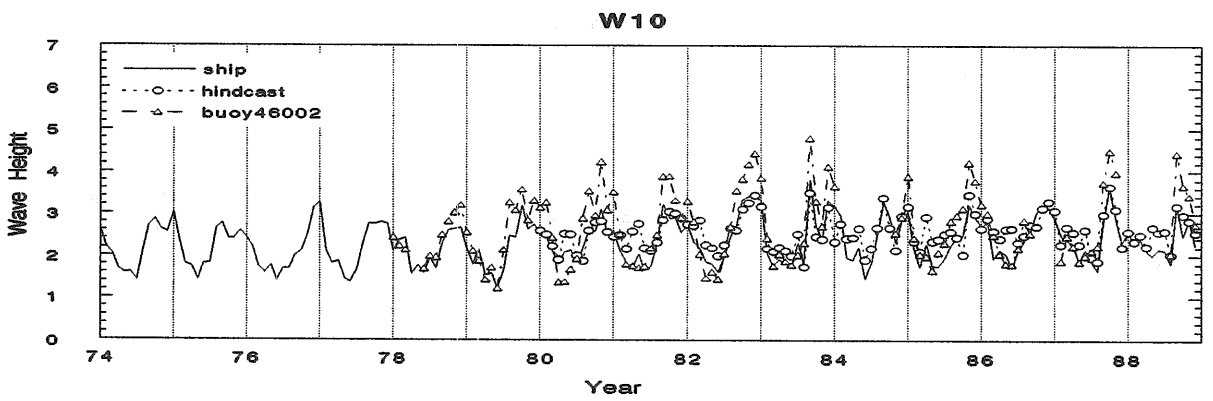
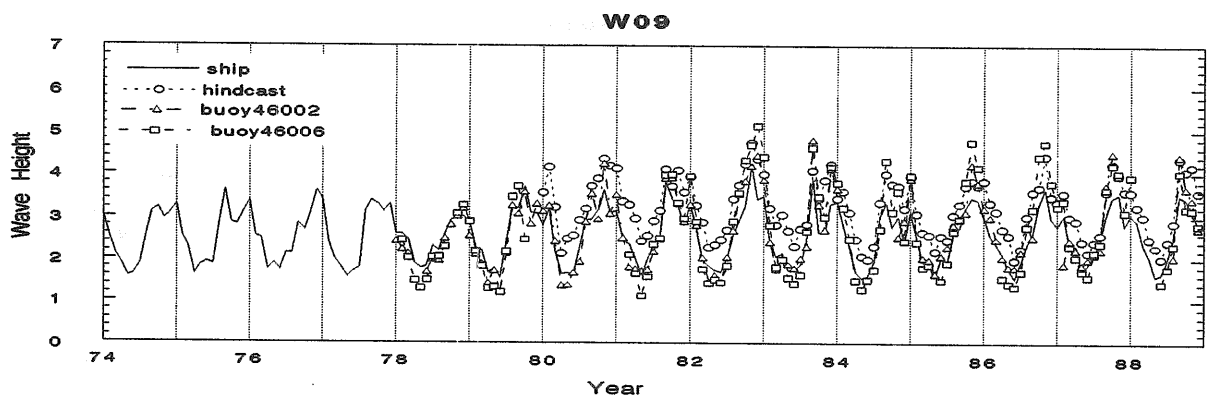
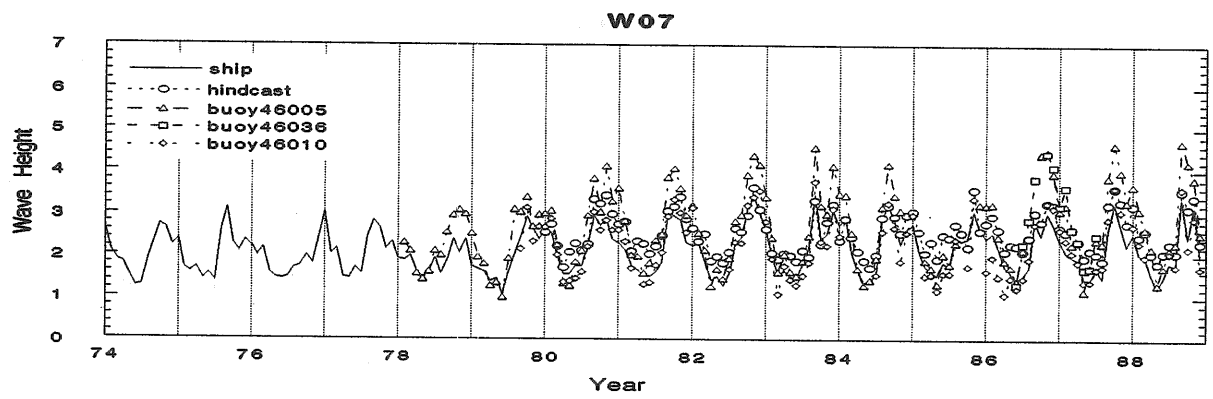


Fig. D. 1. 4 Trends of Monthly Mean Wave Height

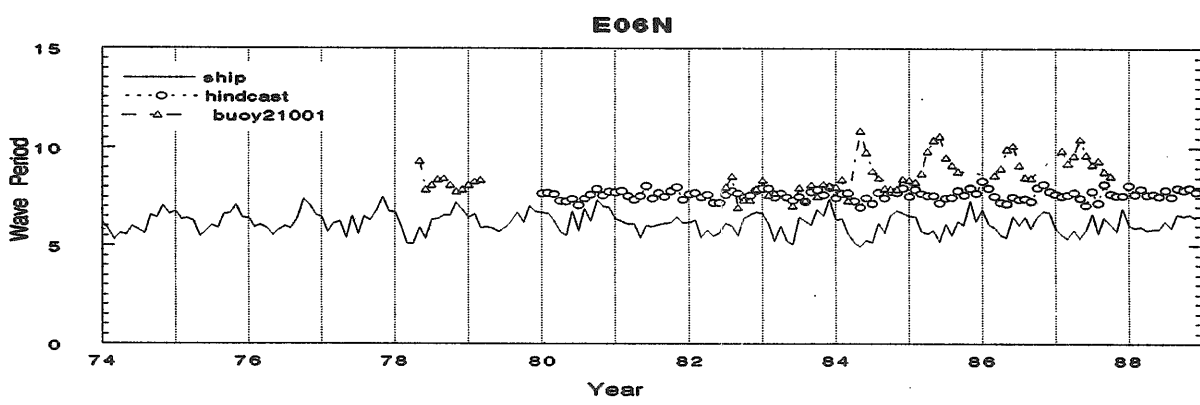
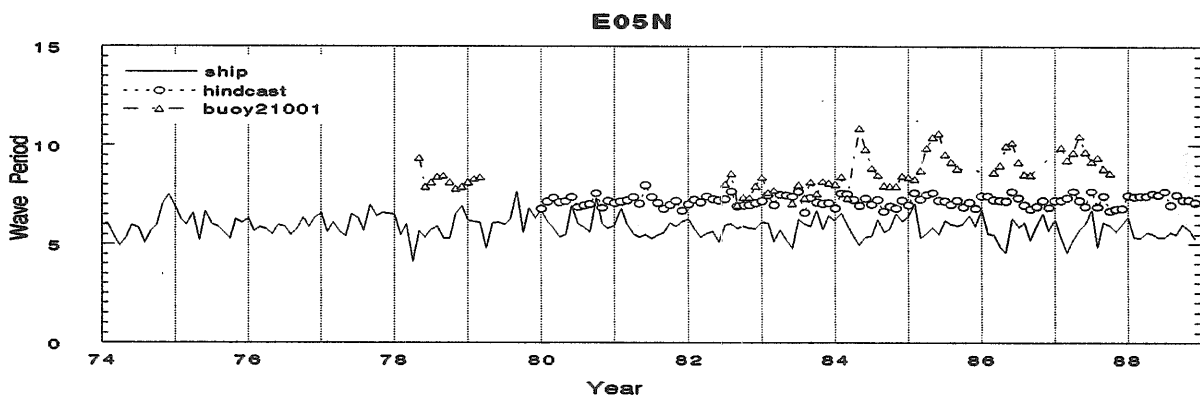
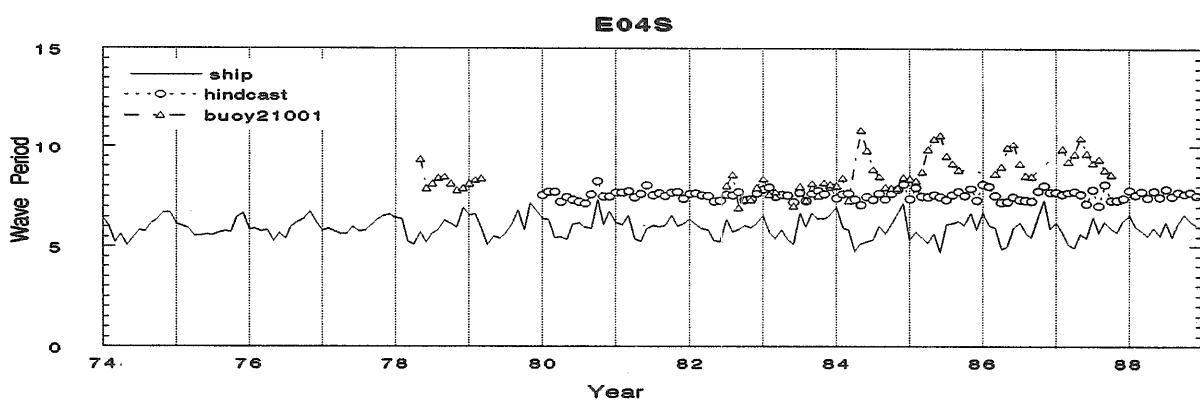
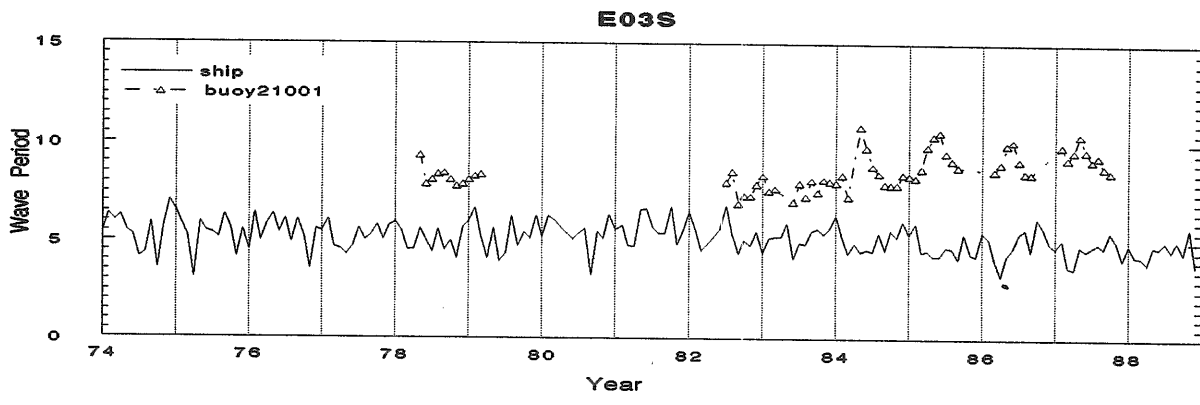


Fig. D. 2. 1 Trends of Monthly Mean Wave Period

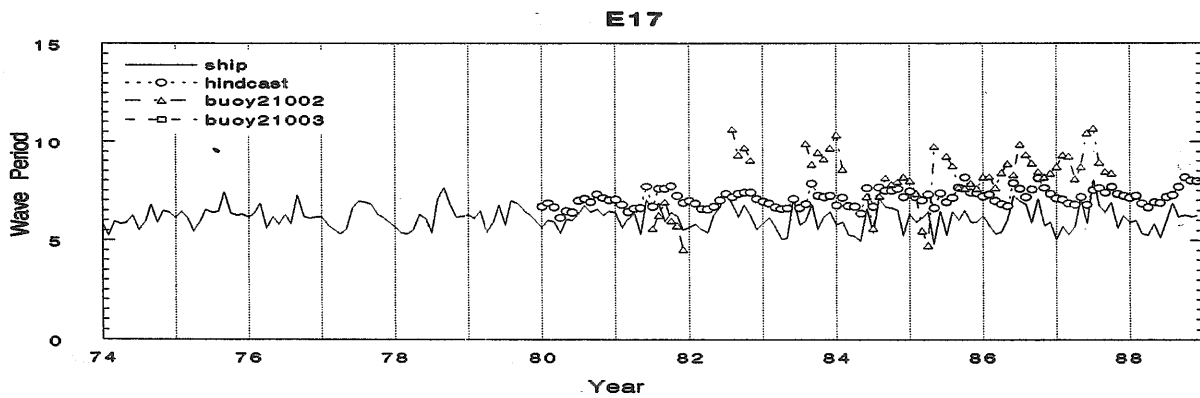
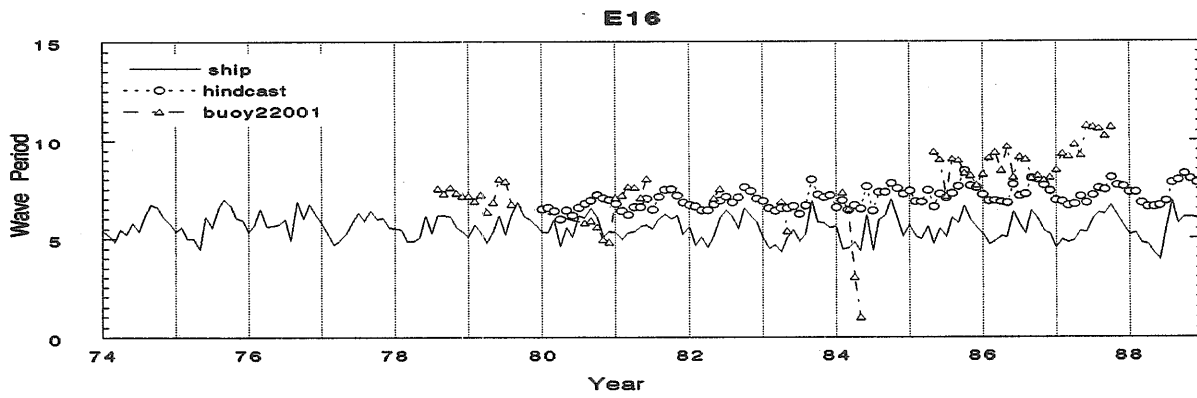
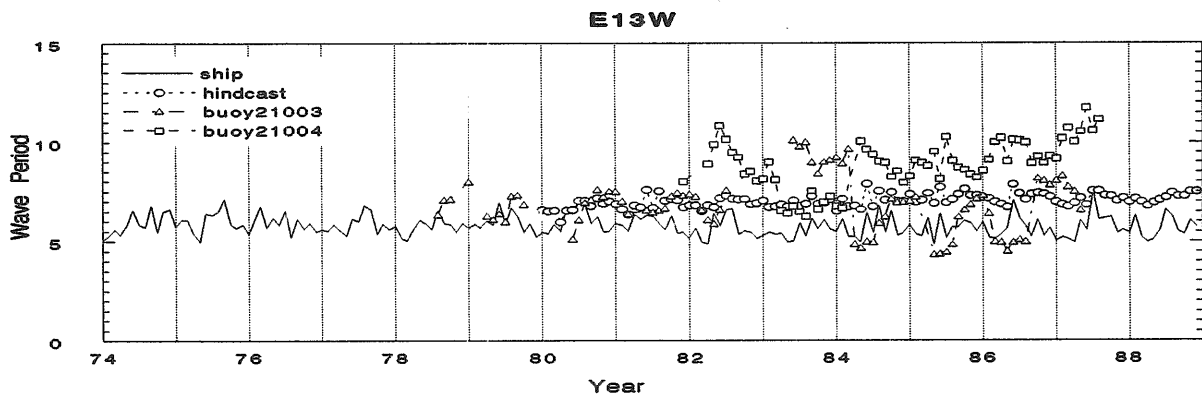
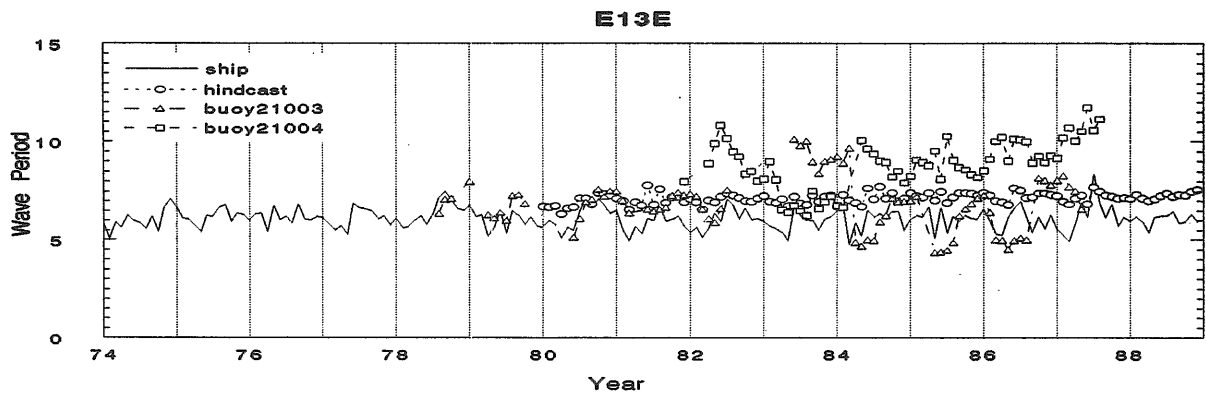


Fig.D. 2. 2 Trends of Monthly Mean Wave Period

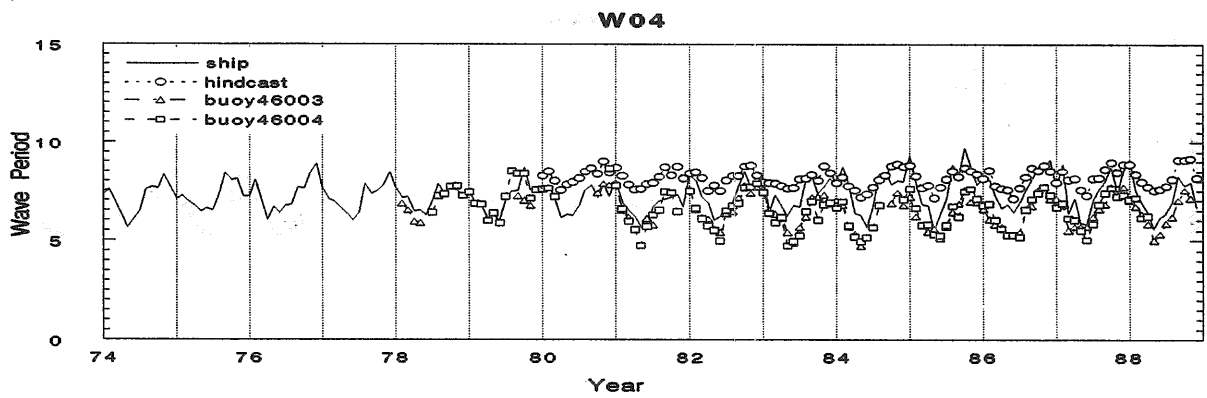
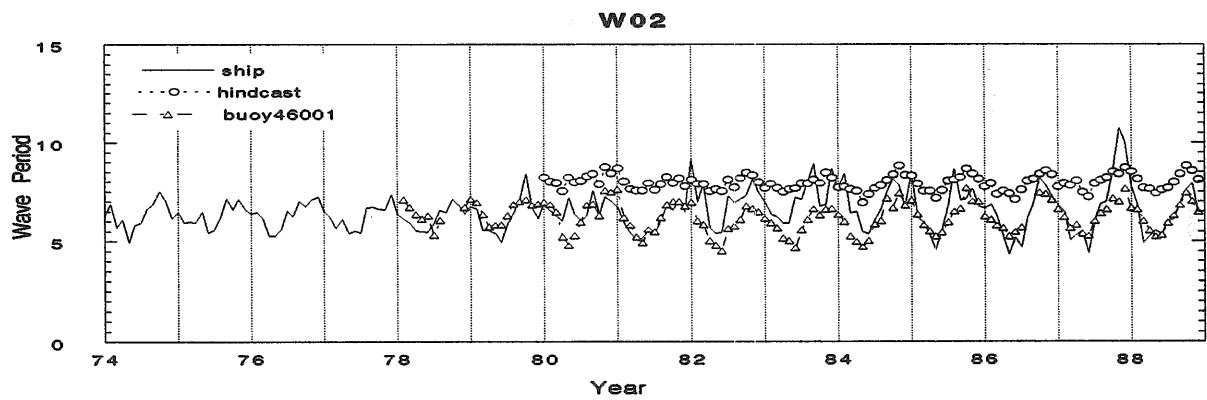
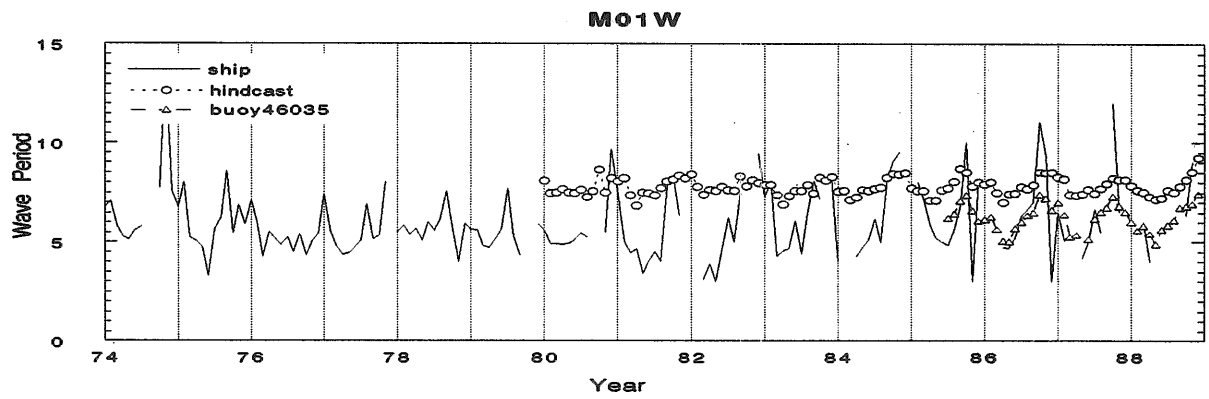
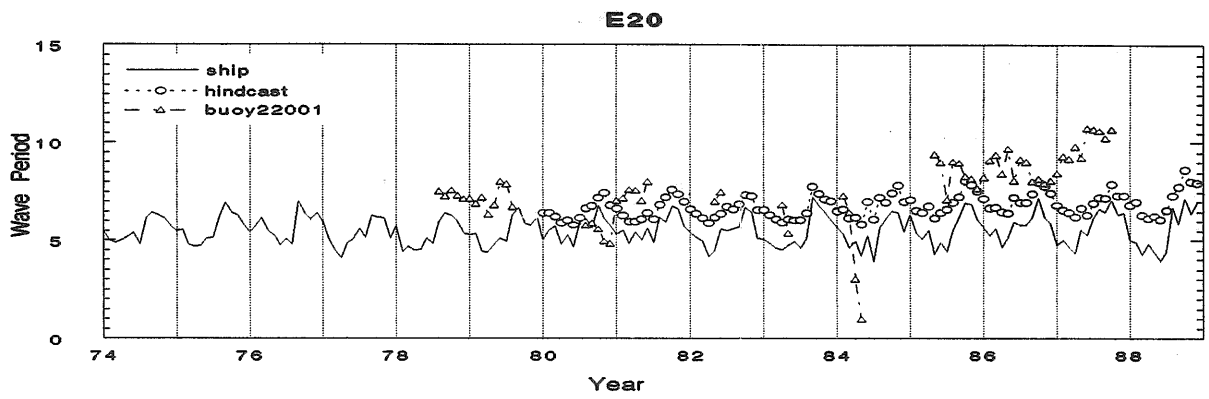


Fig. D. 2. 3 Trends of Monthly Mean Wave Period

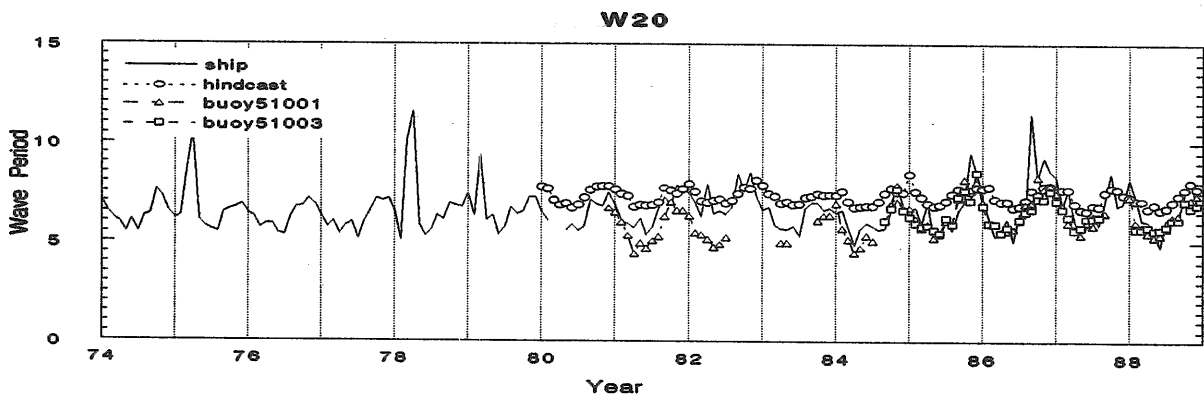
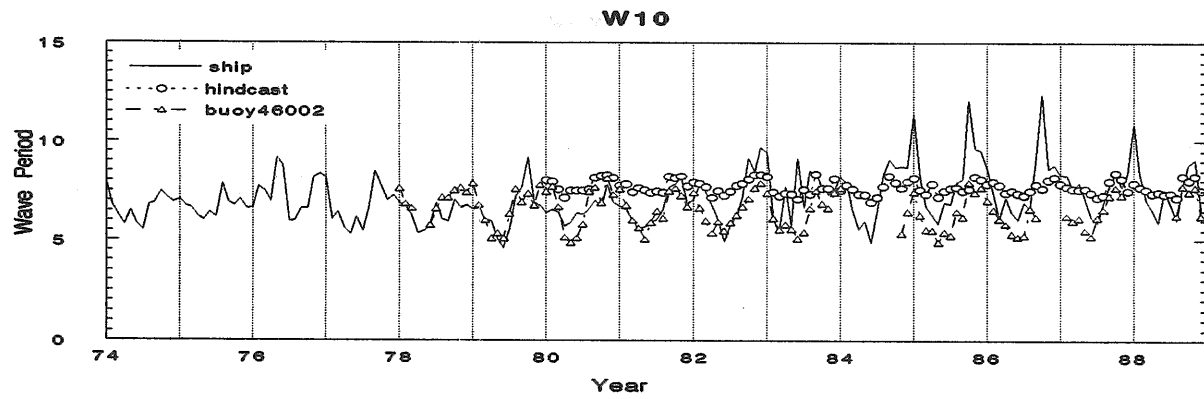
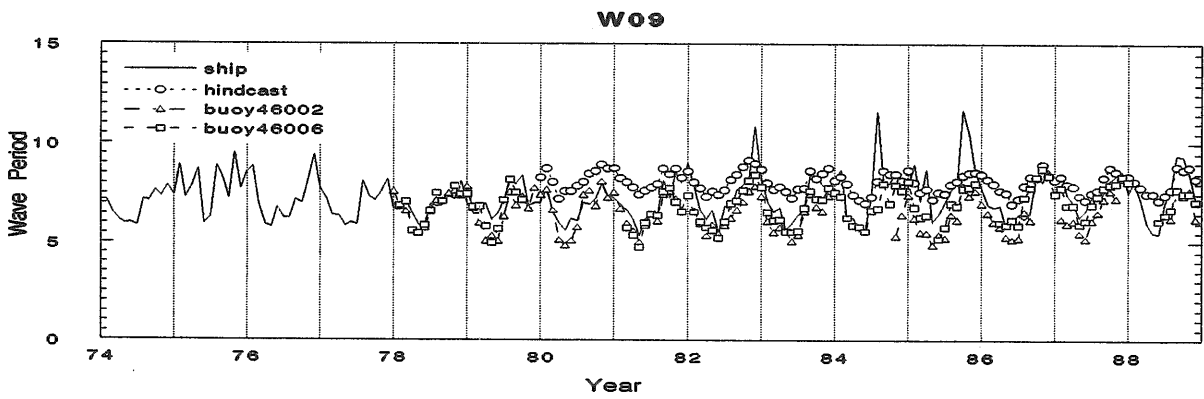
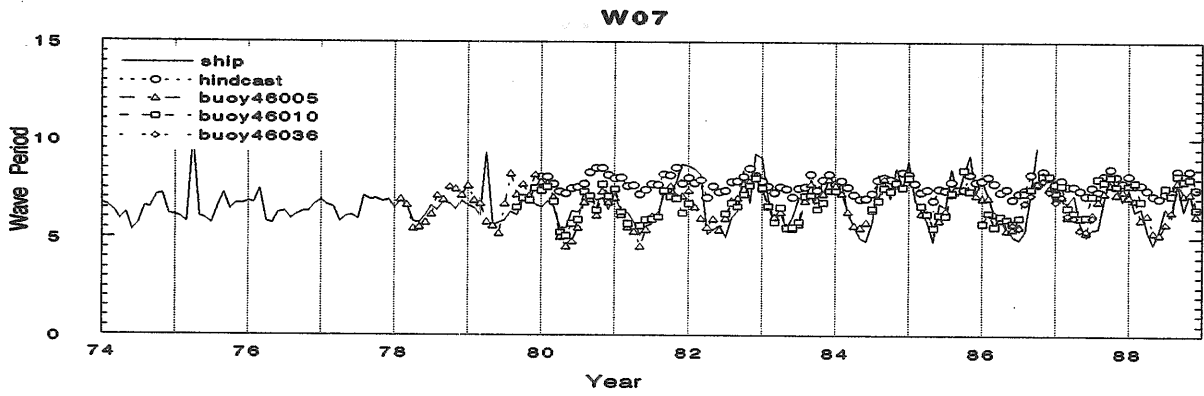


Fig. D. 2. 4 Trends of Monthly Mean Wave Period

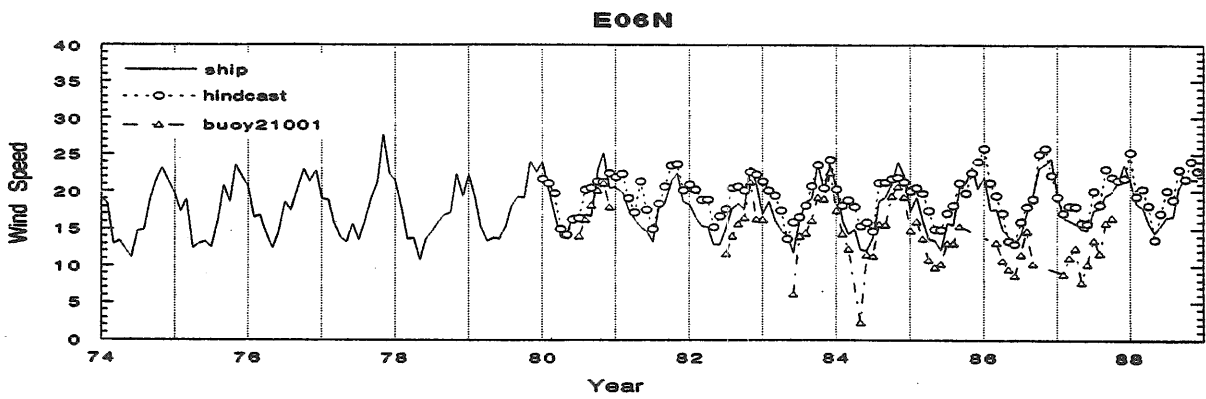
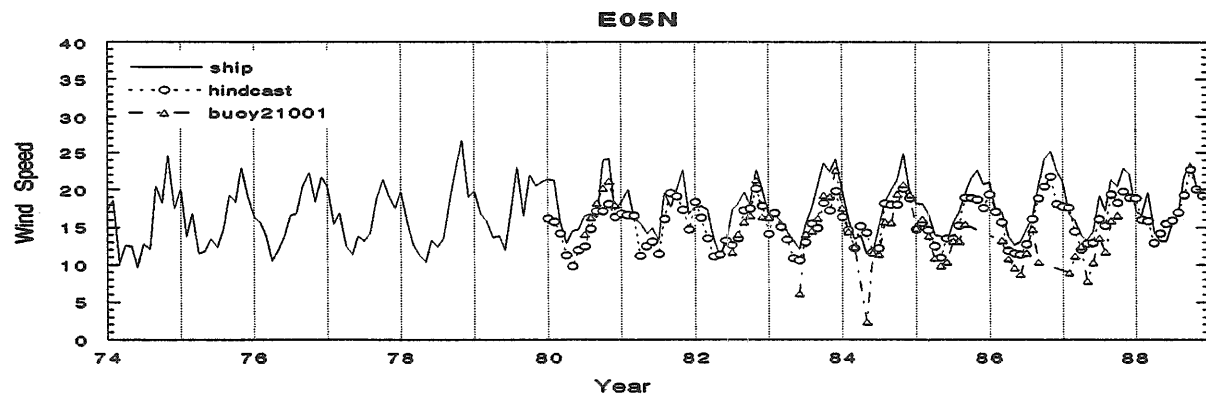
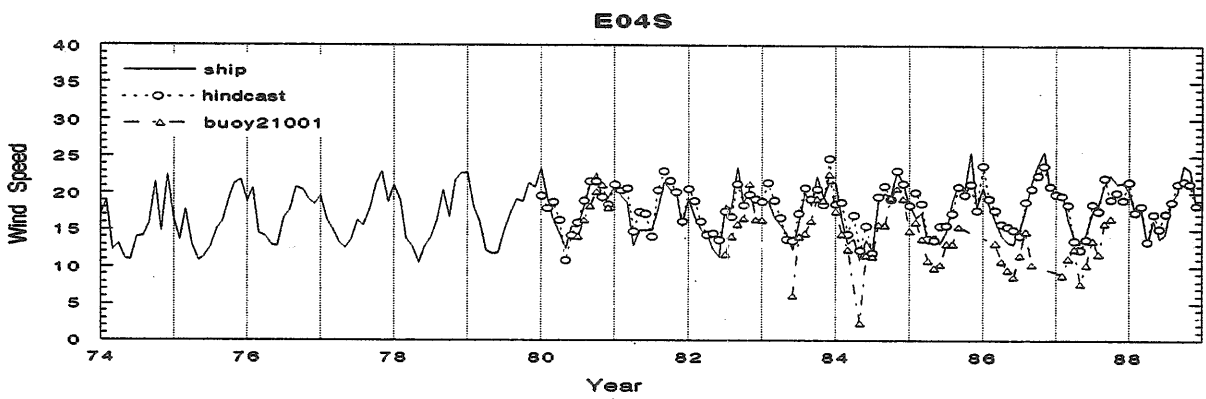
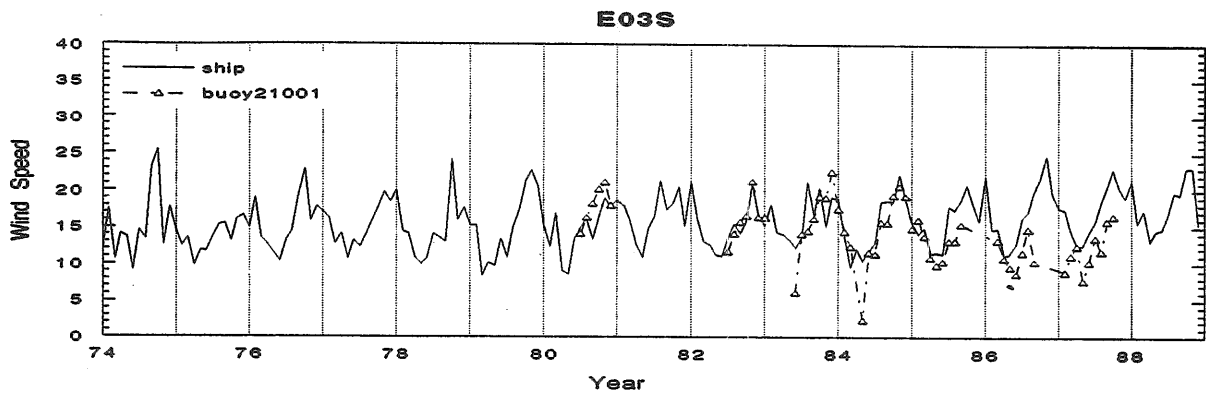


Fig.D. 3.1 Trends of Monthly Mean Wind Speed

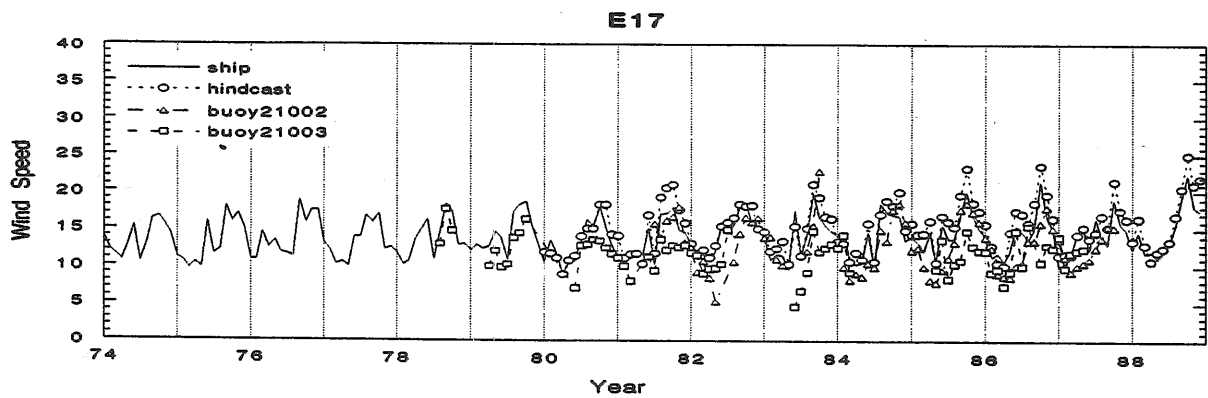
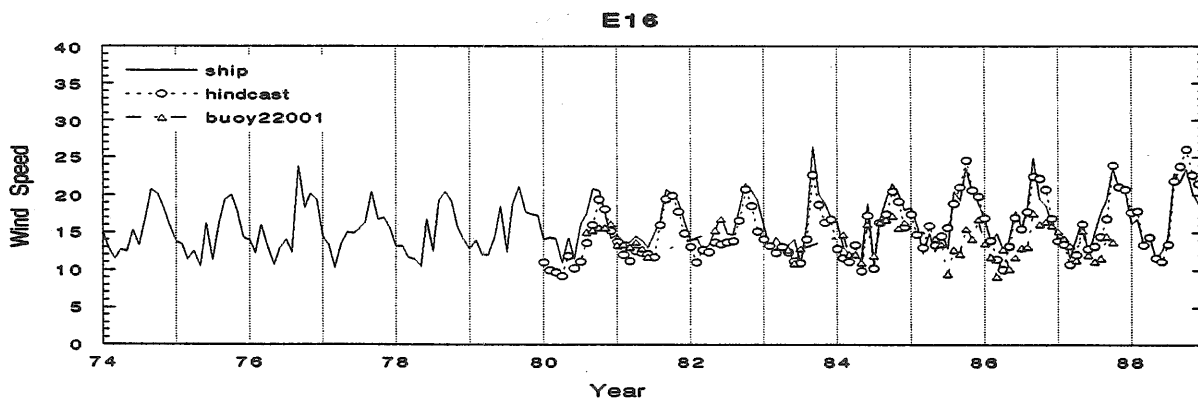
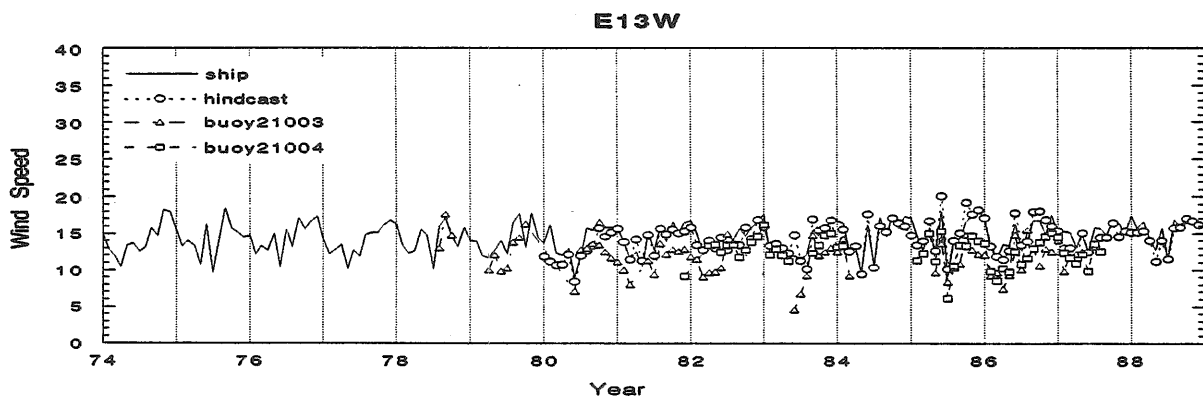
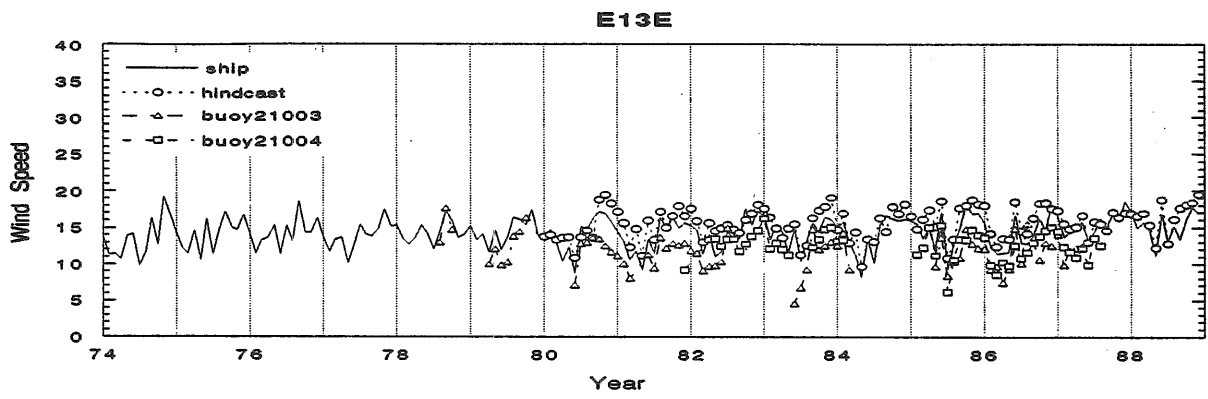


Fig. D. 3. 2 Trends of Monthly Mean Wind Speed

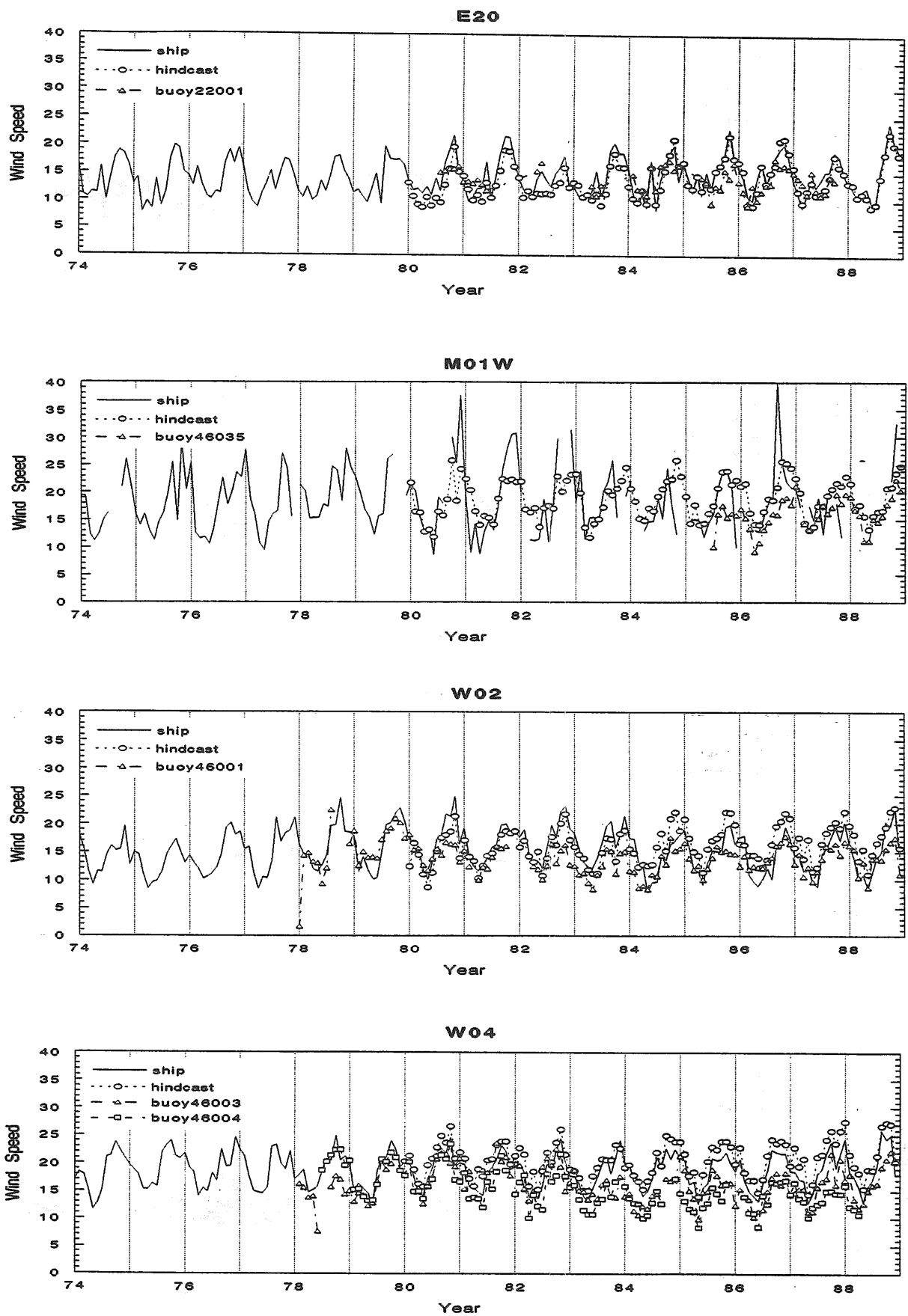


Fig. D. 3. 3 Trends of Monthly Mean Wind Speed

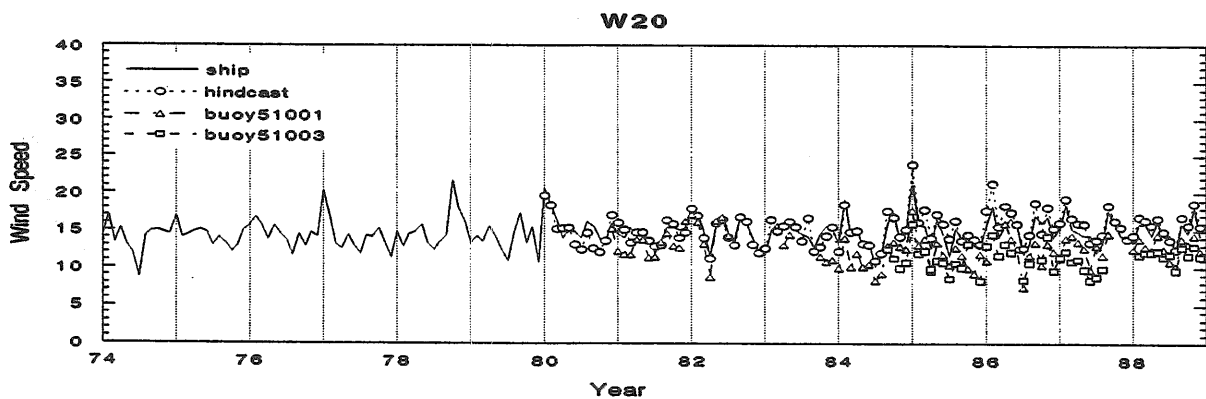
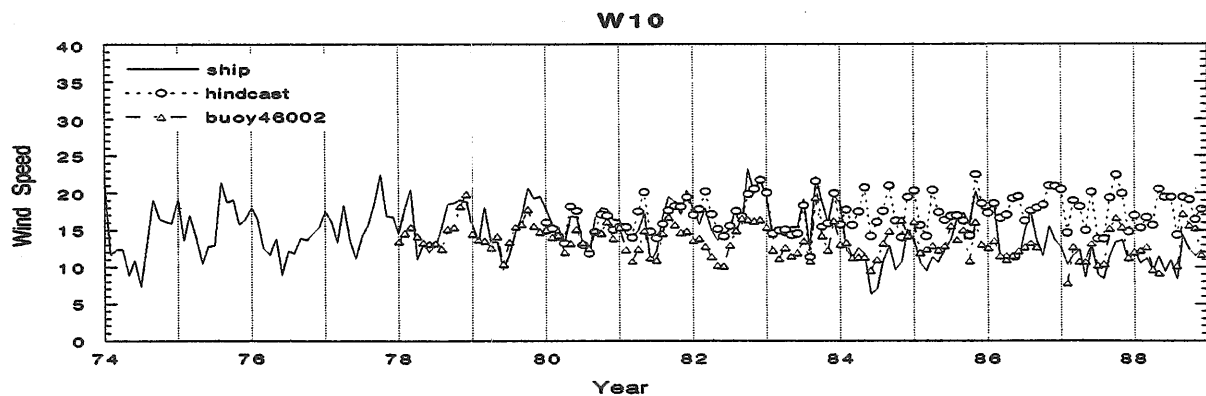
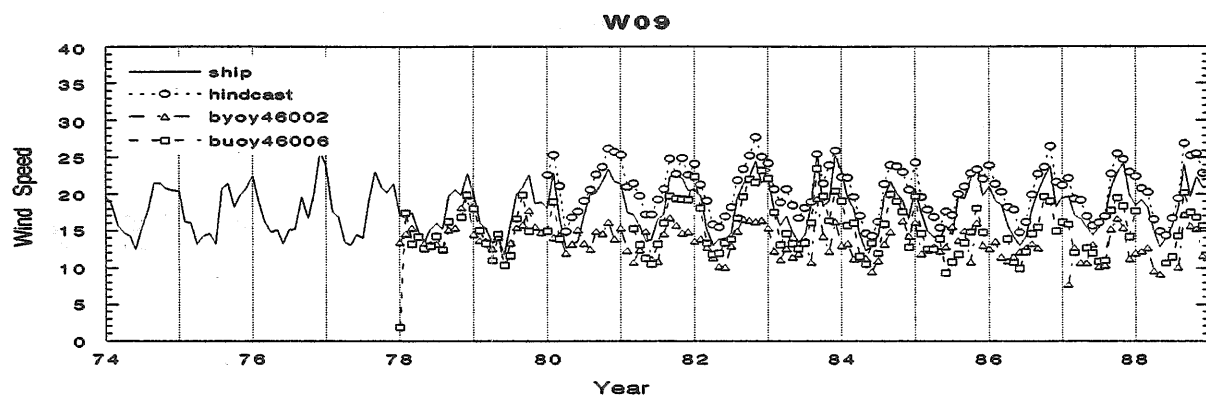
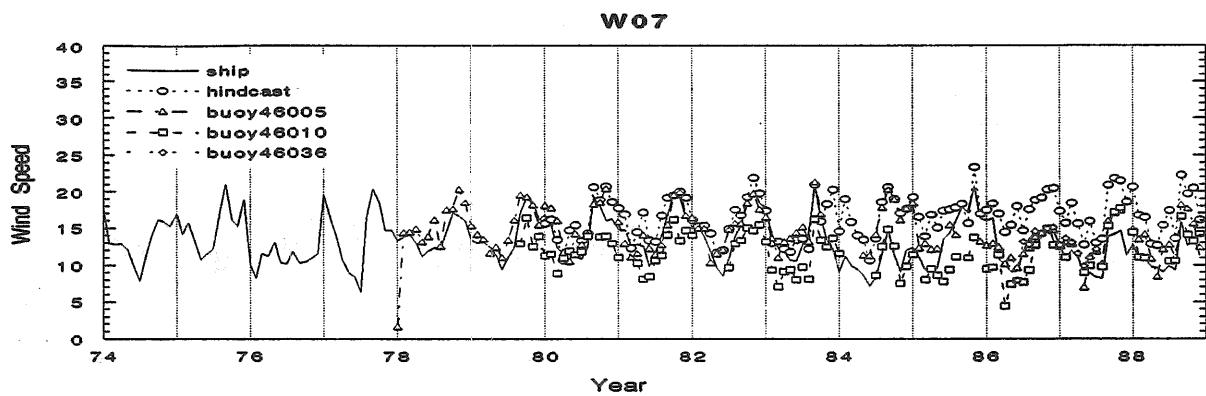


Fig. D. 3. 4 Trends of Monthly Mean Wind Speed

付録 E. 統計的検討

1. 海象データの統計的特性

今回のデータベース作成に当たって利用した各種のデータソースのうち報告された数値の精度と客観性において最も優れているのは海洋観測ブイによる計測データである。そこで、船舶通報データあるいは追算データの検討にはいる前に北部北太平洋のNOAAブイデータにもとづいて当該期間中における海象気象の長期分布の概要について調べてみた。解析対象としては、本研究に利用された内で最も長い観測期間（1978年1月–1989年8月）を有する46001、46003、46002、46005の4基を取り上げる。前2者はアラスカ沖、後2基はカリフォルニア沖に設置されている。

1.1 風と波の相関

4基のブイで計測された平均風速と有義波高の関係をFig. E. 1に示す。プロットされた点は各風速毎の出現有義波高平均値である。各ブイのデータ数は7万件前後とかなりの量にのぼっているが、まず気がつくことはどのブイにも60ノット以上の風速の観測値が1件もないことである。これは船舶データはもとより追算データと比較しても著しい特徴である。今一つの特徴はその曲線を外挿すると無風時にも2m近い波高が存在するように見えることである。この様な強いうねり成分の存在は海域の気候、地理的位置関係にも依存するが、実海域では普遍的に経験されるところであり、注意を要する点である。

1.2 波高分布

4基のブイにおける波高分布の比較をFig. E. 2に示す。46003での分布がやや高波高よりに外れているが他の3基はかなり類似した傾向を示し高波高側へは指数的な減少となっている。

1.3 周期分布

4基のブイにおける波周期分布の比較をFig. E. 3に示す。分布形は波高のそれと比べて幾分対称性が見られピークの両側に尾を引いている。この分布形もある種の典型的な特徴を持っているように思われる。各計測点による差異はやはり余り大きくない。以下にこれらの特性について一般的に知られている統計的分布関数による説明の可能性について考えてみる。

1.4 長期分布の特性

極値の漸近分布、対数正規分布

一般に気象、海象、水文等自然現象の発現機構は極めて複雑な偶発的要因に依存しているため決定論的な予測は勿論、確率論的な性質も明かでない場合が多い。従来これらの現象を整理、把握するために非対称分布を示す事例一般に適用可能とされる対数正規分布、ガンマ分布あるいは寿命予測のモデルであるワイブル分布等が試みられている。本節では既知の母集団から得られたサンプル中の最大値の分布を表すいわゆる極値の漸近分布を含めてこれらの統計の性質について

簡単に触れることとする。

(1) 極値の漸近分布：ある統計量 X の確率密度関数を $f(x)$ 、その累積分布関数を $F(x)$ としたとき、 N 個のサンプルのうちの最大値 Y_N の分布は

$$g(y_N) = N f(y_N) \{F(y_N)\}^{N-1}$$

として求められるから、その累積分布関数は

$$G(y_N) = \int_{-\infty}^{y_N} g(y_N) dy_N = \{F(y_N)\}^N$$

今 Y_N の分布の最頻値を Y_N^D と書けば、 $Y_N = Y_N^D$ において元の分布関数は

$$-\frac{f'}{f^2} = \frac{N-1}{F} \text{ の関係がある。}$$

一方、l'Hospital の定理により

$$\frac{f}{1-F} = -\frac{f'}{f} \text{ であるから、これらを組み合わせて}$$

$$\frac{1}{1-F} = \frac{N-1}{F} \approx N \text{ となる。}$$

一般に累積分布関数は $F(x) = 1 - e^{-q(x)}$ と書けるから上の条件を使って

$$F(x) = 1 - \frac{1}{N} \exp\{-\{q(x) - q(y_N^D)\}\}$$

従って最大値の累積分布関数は

$$G(y_N) = \left[1 - \frac{1}{N} \exp\{-\{q(y_N) - q(y_N^D)\}\} \right]^N$$

よって $N \rightarrow \infty$ で $y_N \rightarrow z$ 、 $y_N^D \rightarrow z^D$ 、 $q'(y_N^D) \rightarrow \alpha$ とすれば

$$G(z) = \exp\left[-\exp\{-\alpha(z - z^D)\}\right] \text{ に漸近する。}$$

この形の分布関数を通常 Gumbel 分布と称する。

この分布の特徴のひとつは $z \gg 1$ の極限で超過確率 $1 - G(z)$ が

$$1 - G(z) \sim \exp\{-\alpha(z - z^D)\}$$

となり、指数分布になることである。

(2) 対数正規分布：これは正の値のみをとる統計量 T の対数 $\ln T$ が正規分布するとして下記の様な確率密度関数を仮定するものである。

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t T} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln T - \mu_t}{\sigma_t}\right)^2\right\}$$

： μ_t 、 σ_t 、は $t = \ln T$ についての平均および標準偏差である

参考文献

- (1) On the long-term joint distribution of characteristic wave height and period and its application, Fang, Z.S, Acta Oceanologica Sinica, 1989

- (2) Experience from compilation of global wave statistics, Hogben, N., Ocean Engng., 1988
- (3) On long-term statistics for ocean and coastal waves, Ochi, M., Coastal Engng. 1978
- (4) Principles of extreme value statistics and their application, Ochi, M., SNAME, 1981
- (5) "Applied probability & stochastic processes", Ochi, M., Wiley. 1991
- (6) Long-term distribution of ocean waves, de St. Q. Isaacson, M., ASCE, 1981
- (7) 極値統計におけるプロット公式ならびに推定値の信頼区間に関する数値的検討、合田良実、港研報告、1988
- (8) "信頼性データの解析"、日科技連、1975
- (9) 極値統計学、グンベル、生産技術センター

1.5 モデル分布の検討

前節で説明した2種類の分布関数を用いてこれらの生起確率に対する当てはめを行ってみた。Fig. E. 4では波高分布の超過確率についてGumbel分布の当てはめを行っている。Fig. E. 4. 1では4基のブイの計測結果の総計について理論と実測値とを比較している。両者の一致は良好である。Fig. E. 4. 2では波高が大きい領域での関係を見るために前者の対数をとって比較してある。前節で述べたように理論分布は指数分布に近づくので図では直線になっている。ここでも両者の一致はかなり良好である。高波高の極限ではややズレが見られるが、この辺りではサンプル数が極めて少なくなっていることを考えればこれは統計的変動性の現れと解釈することもできる（このグラフの縦軸の数字は10の指数を表している）。

波周期分布に対する対数正規分布の当てはめをFig. E. 5に示す。

46002の例を除いては両者の一致は極めて良好である。

2. 各種データの性質と問題点

2.1 結合分布

各種データソースの特性を見るために、全海域、通年の相関図をFig. E. 6に示す。

データ源は、a 船舶通報データ (WAVE)、b 船舶通報データ (SWELL)、c ブイデータ (46001)、d 数値追算データであり、46001はアラスカ沖 (56N、148 W) に設置されたブイである。ここで、SWELLは源データ中の「うねり」、WAVEは源データ中のうねりと「風浪」のうち大きい方を表している。二次元分布の概要を見るために相関表の上に、10%、5%、1%、0.1%、0.01%の出現確率のコンターが描き込んである。船舶データ (WAVE) と (SWELL) では短周期 (<5sec) での顕著なピークを除けばほぼ似通った分布形となっており、長周期の波浪は (SWELL) のデータで代表されるものと思われる。これで見ると通報データ

中の「うねり」の項目は海洋学的な意味でのうねりとは分けて考えねばならない。ブイデータと追算データは各々ピークの周期がやや長く（6～8 sec）、分布の形状は目視データより集中しており、且つお互いに異なった特徴を示している。すなわち、

- (i) 船舶データでは、図の左下部分にデータが多く、且つ全体に上方（高波高）部分にもデータの分布がかなりある。前者は航行船舶の航路筋への集中、悪天候に対する避航等が原因と考えられ、後者については観測の誤差、コードの誤り、データ伝送系統での誤入力等人為的なミスが含まれるためと推量される。
- (ii) ブイ46001の場合には頻度分布のコンタは斜め上方に楕円形に発達しており理論的にも納得できるものである。
- (iii) 追算データでは図の右上へ頻度分布が突出している。これは計算モデルの特性という意味とともに、計算上の格子点が全海域を一樣にカバーしているため荒天域のデータを拾う機会が他のデータより多いことが一因と思われる。

2.2 周辺分布

前項での比較をもう少し定量的に行って見るためにこれら4種類の相関表から求められる周辺分布の形をプロットしてみる。Fig. E. 7. 1は波高の分布の比較図である。船舶データ（WAVE）と（SWELL）は、ほぼ同一の分布状況を示す。ブイデータでは波高はやや大きめに、数値追算のデータではやや集中的に分布しているが全体として結合分布に比べて著しい差異がある訳ではない。

次に、Fig. E. 7. 2には周期の分布の比較を示してある。この場合にも短波長域でのデータを補正すれば（WAVE）と（SWELL）の分布は大変良く一致し、前項の推測を裏付けている（Fig. E. 7. 3）。

一方、船舶-ブイ-追算に対応する分布形状はかなり大きく異なっており、結合分布での各データソースによる違いはかなりの部分まで周期データの差異によることが分かる。ことに目視観測では波周期に対する報告値において信頼性に欠けることは以前から指摘されているところであり、この部分に波浪統計の主要な問題点の一つがあることが再確認された。

ここで周期の分布について更に詳しく調べるために、Fig. E. 8にW02海域（アラスカ沖）における1978年-1989年での船舶通報データ、追算データおよびNOAAブイ（46001）による計測データより算出した周期の発現頻度分布を示す。図は通年の分布である。ここでは4秒以下のデータは全て4秒と仮定して取り扱っている。

次に海域による差異を見るためにW09、W10海域（北米西岸）、更に東経海域での様子を調べるためにE13E（日本近海）における結果をFig. E. 9に示す。対応するブイは気象庁の四国沖ブイ（21003）である。

これらの図から各種データベースの特徴として次の諸点が共通して見られる。

- (1) ブイによる実測データと追算データとはかなり異なった分布形状を与える
- 追算データのほうが分布のピークを与える周期が1秒以上大きい

- (2) 船舶通報データでは値の分散が非常に大きい
- (3) 船舶通報データでは5秒以下への偏りが非常に大きい
- (4) 船舶通報データでは7秒以上で分布形に顕著な凹凸が見られる

これらの事実は時間、空間の違いによらず存在するようなのでデータソースそのものの特性であると考えられる。これらのうち、(4)については偶数秒の頻度が高いことからみて目視観測での判断の偏り、また旧コード体系（2秒おき）への心理的依存等が原因ではないかと思われる。

また(3)については他のデータと比較するために4秒以下の観測値を全て1～4秒に均等分配し且つ3秒以下は無視したほうが妥当とも考えられる。W02海域の結果についてこのような操作を施したものをFig. E. 10に示す。修正によって船舶通報データの分布はブイデータのそれとかなり近づくことが分かる。

2.3 従来の波浪統計等との比較

ここでは、従来から知られている船舶通報データから作られた統計の例として、Waldenの統計及びS R 163(高石等)の統計を取り上げ、有義波高の分布についてこれらと比較してみる。Waldenの統計は北大西洋におけるものであり、S R 163の統計ともども我々の統計とは年代的にもズレているのであるが、ここでは第一近似としてそうした海域差、経年変化等は無いものとして考えている。但し季節による差は考慮している。Fig. E. 11にこの結果を示す。

これらの図から認められる特徴として

- (1) 低波高側 (< 5 m) では今回の船舶通報データによる統計とWaldenの統計とは、通年、冬季とも比較的良く一致している。
- (2) しかしながら高波高側 (> 5 m) ではWaldenの統計結果は我々のものよりかなり大き目に出る。
- (3) S R 163のデータは全般的に波高の低い側にかたよっている。

2.4 標準（モデル）分布との関係

2.4.1 波高分布

実海域における有義波高、平均波周期等の観測値の出現はもとより確率論的現象であるが、その結合確率分布 $p(H, T)$ を実際の報告データから定める際に、特に船舶による目視観測、追算による計算値データを基本とする地球規模の大洋を対象とする統計の場合には、前節で指摘したような種々の問題点があることが明らかになった。この際何か拠り所となるモデル分布が存在するならば、それを規準として各種データの処理、検討、さらには極限波の推定等の作業を行う上で非常に便利である。ここではその第一歩として、波高に関する分布 $p(H)$ について考えてみる。これを調べるために各データの未超過分布 P を求め、これからその二重対数 $\ln(-\ln P)$ をとったものをFig. E. 12及びFig. E. 13に示す。もし分布がGumbel型であるなら結果は直線となるはずである。Fig. E. 12では今回の船舶データ(WAVE)をFig. E. 13ではブイによるデータに対するこの変換を行っている。これから、

- (i) 船舶データの場合、低波高側では分布は非常に良くGumbel分布で表されている。
- (ii) 高波高側 (> 7 m) では両者の間に一定のズレが生じており、観測値は理論分布より大きめの値を示している。このことは前述したように船舶データでは人為的理由から架空の大波高の報告が紛れ込む可能性があることと関連があり、今後詳しく検討する必要がある。
- (iii) ブイデータの場合には夏季を除いて観測データはかなり高波高側まで直線性を保っている。今回利用された各種データのうちで最も信頼性が高いと思われるNOAAブイデータのこのような振る舞いから当該理論分布の実海象への適用の可能性は充分考慮されて良いと思われる。

2.4.2 周期分布

有義周期（平均周期）の分布に対する理論的なモデルは特にないので、ここではこれまでの経験に倣って対数正規分布とブイデータおよび追算データとの比較を各海域のデータについて行ったものをFig. E. 14からFig. E. 15に示す。ここで、 μ 、 σ の値はデータから求めている。ブイデータ、追算データについては各々の分布形状はかなり異なるにも関わらず極めてよく対数正規分布によって表現されていることが分かる。この事実が何を意味するかは未だ不明であるが、ひとつの理由として、これらのデータが海洋波の持つ時間的、空間的不規則性（ランダム過程）のランダムなサンプリング特性をよく保持しているためではないかと推量される。2種類のデータに基づく分布に現れる系統的な差異は計算の際に用いられた仮定、条件等から来ているものと思われるが、追算データを利用するときには注意が必要である。

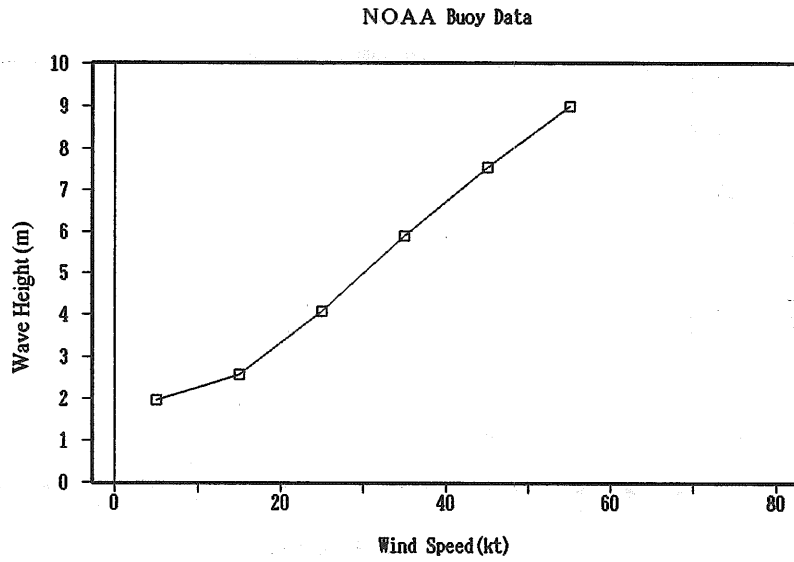


Fig. E. 1 Mean line of Wave Height by Wind Speed
(Buoy 46001, 46002, 46003, 46005 combined)

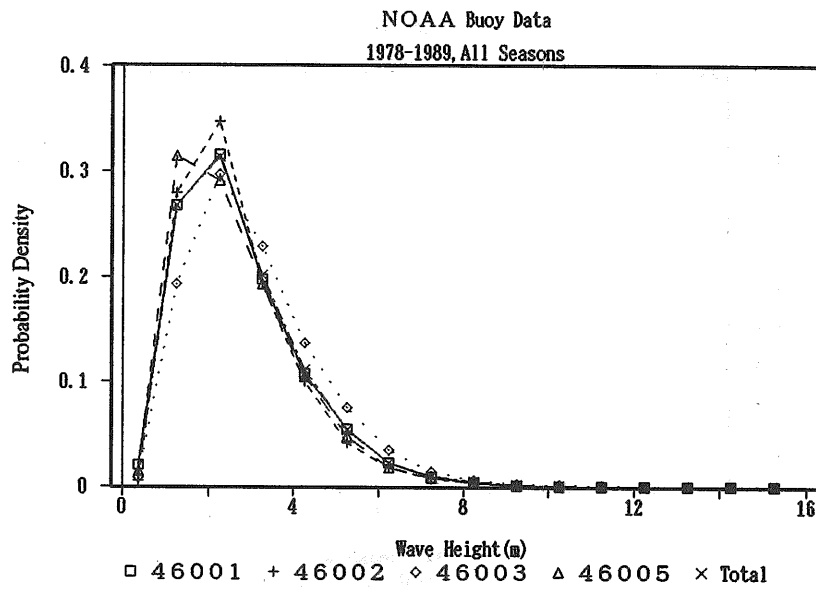


Fig. E. 2 Wave Height distribution
(Buoy 46001, 46002, 46003, 46005 combined)

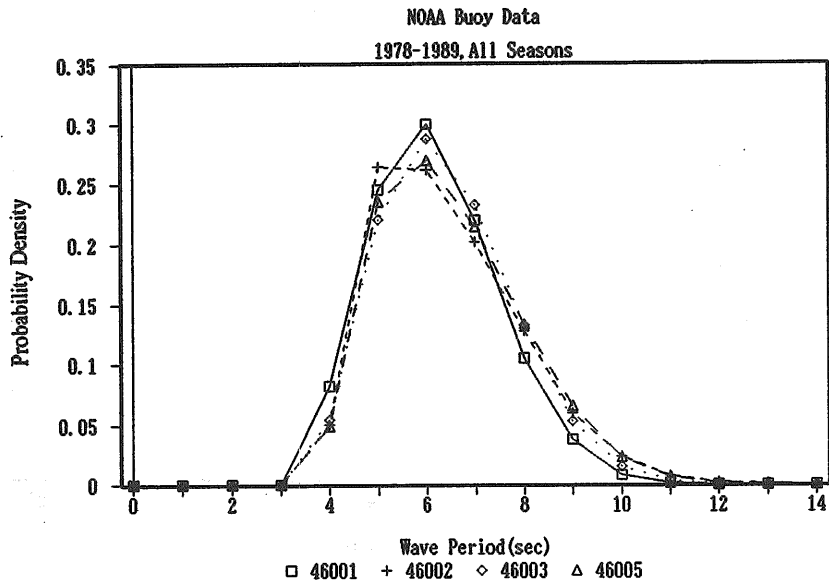


Fig. E. 3 Wave Periods distributions
(Buoy 46001, 46002, 46003, 46005 combined)

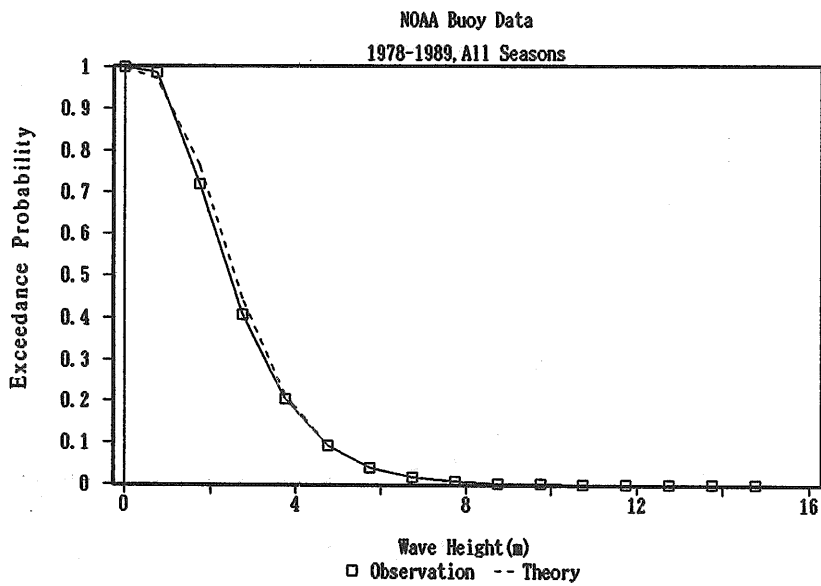


Fig. E. 4. 1 Fitting of Gumbel Distribution to Wave Height Distribution
in linear scale (Buoy 46001, 46002, 46003, 46005 combined)

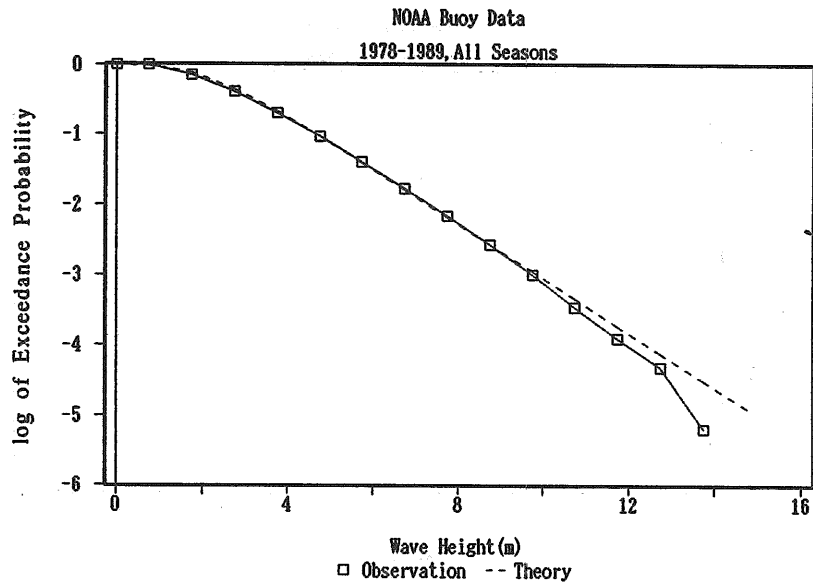


Fig. E. 4. 2 Fitting of Gumbel Distribution to Wave Height Distribution in logarithmic scale (Buoy 46001, 46002, 46003, 46005 combined)

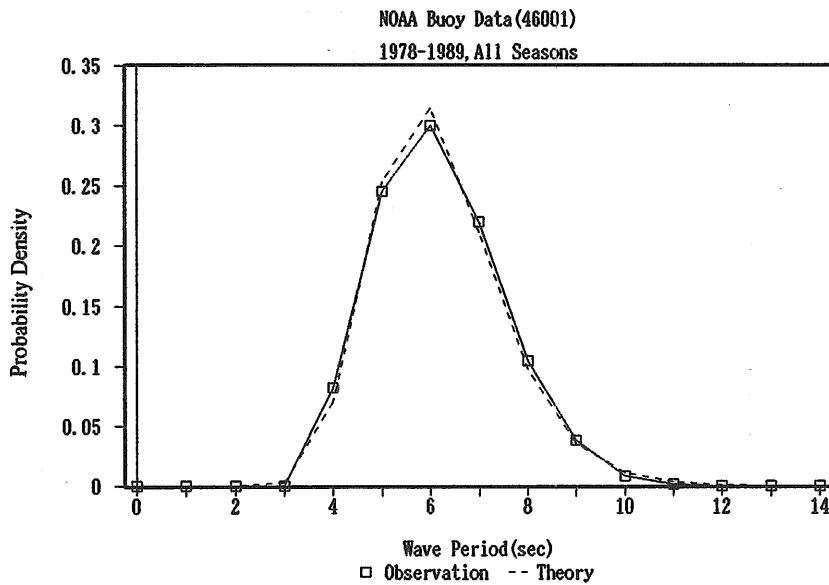


Fig. E. 5. 1 Fitting of lognormal Distribution to Wave Height Distribution (Buoy 46001)

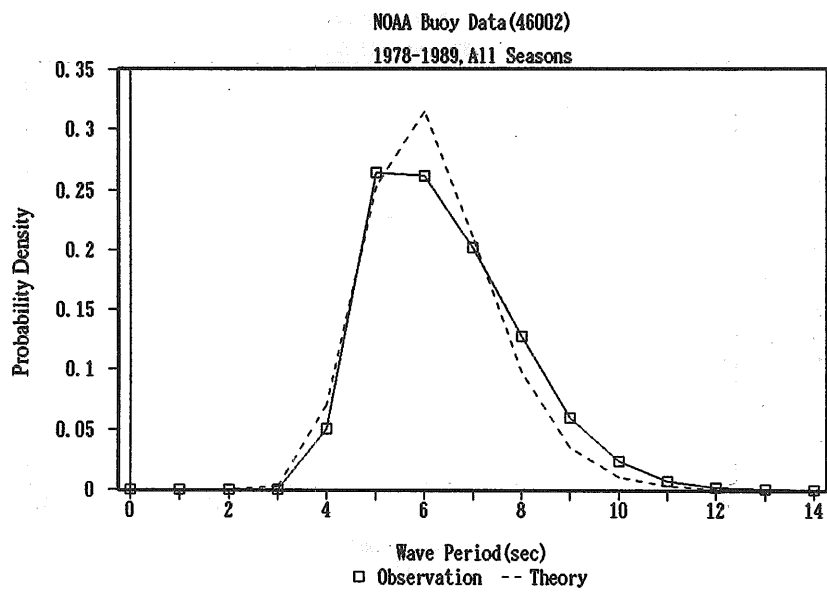


Fig.E. 5. 2 Fitting of lognormal Distribution to Wave Height Distribution (Buoy 46002)

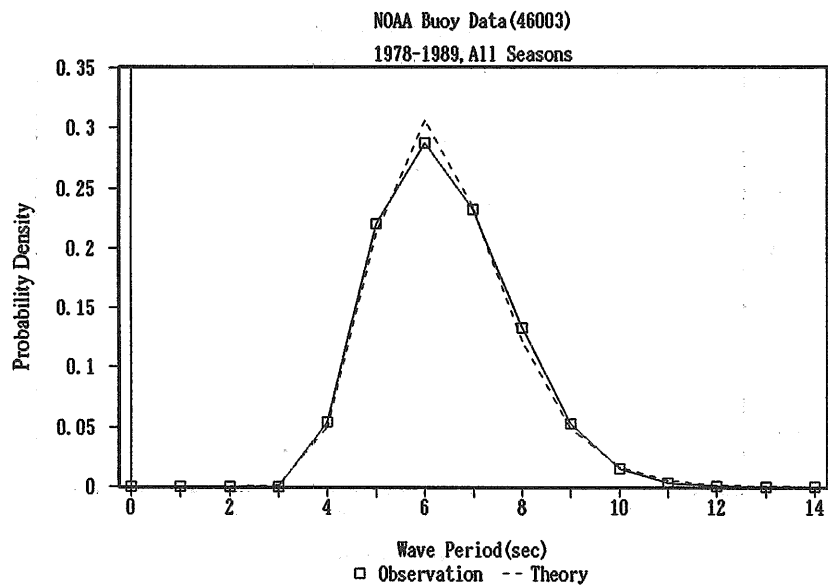


Fig.E. 5. 3 Fitting of lognormal Distribution to Wave Height Distribution (Buoy 46003)