

第 163 研 究 部 会

気象海象および船舶の波浪中応答に 関する統計解析ならびに実船計測 報 告 書

昭 和 55 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

本研究は気象海象および船舶の波浪中応答の検討を目的として、昭和51年度から5か年計画で開始したもので、第4年度である今年度は1) 北太平洋の船舶気象通報データの統計解析 2) 波浪荷重・波浪等の実船計測 3) 各種波浪計による共同波浪計測を行なった。

本報告書は2) 3) についての中間結果を、1) については別に「北太平洋の波と風の統計図表」を刊行したので、その概要をとりまとめたものである。

Research Memoir, No. 325

**STATISTICAL ANALYSIS AND FULL SCALE MEASUREMENTS
OF WIND, WAVE AND SHIP'S RESPONSE**

by

The 163rd Research Panel (SR163),
The Shipbuilding Research Association
of Japan

March 1980

The Shipbuilding Research Association of Japan
(Toranomom 1-15-16, Minato-ku, Tokyo 105)

第 163 研究部会委員名簿（敬称略，順不同）

部 会 長 高 橋 幸 伯 （東 京 大 学）

委 員

真 能 創 （防 衛 大 学 校）
 小 畑 和 彦 （東 京 大 学）
 長 沢 準 （船 舶 技 術 研 究 所）
 大 松 重 雄 （船 舶 技 術 研 究 所）
 松 本 次 男 （気 象 庁）
 田 崎 亮 （石 川 島 播 磨 重 工 業）
 榎 本 圭 助 （三 井 造 船）
 高 木 又 男 （日 立 造 船）
 南 真 和 （三 井 造 船）
 永 松 秀 一 （住 友 重 機 械 工 業）
 久 田 靖 二 （函 館 ド ッ ク）
 新 田 顕 （日 本 海 事 協 会）
 奥 山 孝 志 （日 本 中 型 造 船 工 業 会）
 前 島 孝 雄 （北 辰 電 機 製 作 所）

前 田 久 明 （東 京 大 学）
 能 勢 義 昭 （東 京 大 学）
 高 石 敬 史 （船 舶 技 術 研 究 所）
 川 口 昇 （三 菱 重 工 業）
 越 智 正 雄 （石 川 島 播 磨 重 工 業）
 小 林 正 典 （三 井 造 船）
 岡 本 洋 （川 崎 重 工 業）
 秦 数 実 （日 本 鋼 管）
 伊 藤 哲 （佐 世 保 重 工 業）
 日 下 幹 生 （大 阪 造 船 所）
 大 橋 誠 三 （日 本 造 船 技 術 セ ン タ ー）
 川 路 正 （昭 和 海 運）
 竹 沢 誠 二 （横 浜 国 立 大 学）

目 次

ま え が き	1
1. 北太平洋における海象・気象に関する統計解析	2
1.1 緒 言	2
1.2 北太平洋の波と風の統計図表	2
1.3 波浪観測値の理論分布	4
1.4 結 言	6
2. 波浪荷重・波浪等の実船計測	7
2.1 緒 言	7
2.2 計測船および計測期間	7
2.3 計測項目および計測点	8
2.4 計測装置および計測方法	8
2.5 計測結果	9
2.6 結 言	10
3. 海洋気象観測船啓風丸による波浪観測実験	11
3.1 概 要	11
3.2 試験結果	11
3.3 考 察	12
3.4 結 言	13
参 考 文 献	15
附 図 ・ 附 表	16

CONTENTS

Preface	1
1. Statistical Analysis of Ship's Weather Reports	2
1.1 Introduction	2
1.2 "Wind and Wave of the North Pacific Ocean"	2
1.3 Theoretical Distribution of Observed Waves	4
1.4 Conclusion	6
2. Full Scale Measurements of Wave and Wave Loads	7
2.1 Introduction	7
2.2 Ship and Schedule	7
2.3 Measuring Item and Position	8
2.4 Apparatus and Method of the Measurements	8
2.5 Results of the Measurements	9
2.6 Conclusion	10
3. Experiment of Cooperative Wave Measurements	11
3.1 Outline of the Experiments	11
3.2 Test Results	11
3.3 Considerations	12
3.4 Conclusion	13
References	15
Figures and Tables	16

ま え が き

本研究部会（SR163）は、昭和51年度から発足し5ヶ年継続計画で、気象・海象および船舶の波浪中応答の研究を行うことを目的としたものであるが、本年度は次の三つのプロジェクトについて研究を実施した。

- | | |
|--------------------|-------|
| (1) 船舶気象観測データの統計解析 | 第1幹事会 |
| (2) 波浪荷重・波浪等の実船計測 | 第2幹事会 |
| (3) 各種波浪計による共同波浪計測 | 第3幹事会 |

このうち(1)は過去10年間の船舶気象通報による膨大な資料を統計解析して、北太平洋海域の気象・海象を整理し、長期予測・船舶設計の基礎資料などを得ようとするものである。昭和51～53年度にわたってわが国およびアメリカにおける400万余のデータを解析し、本年度はその最終整理を実施して、「北太平洋の風と波の統計図表」が刊行された。

研究項目(2)は、長期連続の自動計測によって、北太平洋航路船の船体応答の長期傾向を求め、あわせて、波浪ブイによる波浪計測を行い、北太平洋海域の波浪スペクトルデータを集積しようとするものである。コンテナ運搬船「米州丸」（24,191 tDW）によって満3年余の計測が連続して行われている。ここには第71次航（昭和51年10月）から第110次航（昭和55年1月）までの計測結果が集録されている。

研究項目(3)の波浪計測は本年度から実施したもので、気象庁・船舶技術研究所などとの共同研究の形で、気象観測船「啓風丸」による共同波浪計測を2回実施した。なお、共同計測以外の時でも、適時波浪計測に応用できるよう、加速度式の波浪ブイおよび受信装置を「啓風丸」に常備しておくこととなった。

1. 北太平洋における海象・気象に関する統計解析

1.1 緒 言

昭和51年度から53年度に至る3ケ年の研究により、北太平洋の主要海域（北緯 0° - 50° ，東経 100° - 西経 100° ）に於いて1964年から1973年に至る10年間に一般商船により観測・通報された風と波のデータ約400万を統計解析した。解析により、北太平洋を89の小海区に分割した各海区ごとの、月別、四季別、通年に対する、風向-風速、波向-波高、波向-波周期、波高-波周期などの各種要素の組合せ出現頻度を求めた。

これらの解析結果の一部は本研究部会の報告書に発表されている。¹⁾²⁾³⁾ その内容は、主として北太平洋全海域あるいは北緯 30° より北及び南の海域、実船計測に対応する海域等、いわゆる大海区に対する四季別の統計である。小海区に関しては冬と通年に対する風速・波高のそれぞれの平均値が示されているに過ぎない。しかしながら、船舶の設計・運航の現場で利用するためには、小海区に対する詳しい統計が必要となる。また、統計を利用して各海区の波や風の特徴を把握するには、結果を単に示すだけではなく、図で表わしたものを地図上に配列する等の工夫をこらすことが望ましい。このような風や波の統計図表は、1954-1963年の10年分のデータについて、既にSR80部会の研究に基づき作成され、出版され広く造船・海運の現場で利用されている。⁴⁾⁵⁾

そこで、今回のSR163部会の研究成果も前回と同様に、風及び波の統計図表としてとりまとめ、出版することとした。このため、昭和54年度は、必要な若干の追加解析を行ったのち、報告書の原図作成と印刷・製本にとりかかり、「北太平洋の風と波の統計図表」1巻を完成した。⁶⁾

一方、統計解析した結果を用いて、北太平洋の波の性質に対する考察も行った。

1.2 北太平洋の波と風の統計図表

この統計図表は、次のような内容から成っている。

§ 1. Explanation in English	2
英文説明	
§ 2. Explanation in Japanese	4
和文説明	
§ 3. Figures and Tables For Method of Analysis	7
解析方法の図表	
Classes of Wind Direction, Wave Direction, Wind Speed, Wave Height and	
Wave Period :	(Fig. 1 and Tables 1 - 6)..... 7
Division of Sea Area into Sub-Zone :	(Fig. 2)..... 8
Number of Analysed Data for Each Sub-Zone :	(Fig. 3)..... 8
§ 4. Figures and Tables of the Results of Analysis	9
解析結果の図表	
Wave Height vs. Wind Speed for All Seasons and the Whole Area :	
.....	(Table 7)..... 9
Wave Period vs. Wind Speed for All Seasons and the Whole Area :	
.....	(Table 8)..... 9
Wave Height vs. Wind Speed :	(Fig. 4)..... 10
Wave Period vs. Wind Speed :	(Fig. 5)..... 10
Cumulative Probability of Wave Height	(Fig. 6)..... 10
Area Distribution Where Strong Wind Over 50 kt Has Been Observed More	
Than 10 Times in Each Month Through 10 Years (Fig. 7)	11

Area Distribution Where High Waves Over 10m Has Been Observed More Than 10 Times in Each Month Through 10 Years (Fig. 8)	11
§ 5. Maps of Mean Wind Speed and Mean Wave Height	12
平均風速および平均波高	
January February March	12
April May June	14
July August September	16
October November December	18
Spring Summer Autumn	20
Winter All Seasons	22
§ 6. Maps of Wind Speed Roses for Adjacent Sea of Japan and the North Pacific Ocean	24
風速ローズ地図：日本近海および北太平洋	
Spring: (March - April - May)	24
Summer: (June - July - August)	28
Autumn: (September - October - November)	32
Winter: (December - January - February)	36
All Seasons: (Spring - Summer - Autumn - Winter)	40
§ 7. Maps of Wave Height Roses for Adjacent Sea of Japan and the North Pacific Ocean	44
波高ローズ地図：日本近海および北太平洋	
Spring	44
Summer	48
Autumn	52
Winter	56
All Seasons	60
§ 8. Tables of Wave Height vs. Wave Period for Each Sub-Zones	64
波高対波周期頻度分布表	
Spring	64
Summer	76
Autumn	88
Winter	100
All Seasons	112

このうち、§1～§4までの内容は、統計解析方法及びその結果の要約であり、すでに本部会の報告書に記載されているところを再録したものである。§5は、小海区ごとの平均風速、平均波高を月別、季別、通年に対して、小海区の地図上に記入したもので、平均風速と平均波高が、同一の月、季で一对として左右ページに示されている。これらの図により、北太平洋の風と波の海域的分布の概要を知ることができる。

§6は風速のローズ地図、§7は波高のローズ地図である。地図には、四季及び通年について、日本近海を小海区の区分をそのままにして詳しくえがいた地図と、北太平洋全海域を示す地図の2種類が交互に来るようにアレンジされている。ローズは風向及び波向に向ってえがかれたベクトルの長さが、風速又は波高のそれぞれの区分での出現頻度に比例するようになっている。ただし、強風と高波の出現頻度を強調するため、30 kt以上の風速は、それ以下の風速の頻度の5倍のスケールで、2.75 m以上の波高に対しては、それ以下の波高に対するより4倍のスケールで表現しているのに注意する必要がある。

§8には波高と波周期の各区分の組合せ出現頻度表を各小海区ごとに、四季及び通年について表示した。見開きページの右ページの右下に、小海区の区分地図を示してある。また、全海域に対する統計表も、小海区に対する表の各季の最初に示してある。

本図表は、SR80部会の研究につづいて、その後10年間の北太平洋で観測された風と波の統計解析を行った結果を利用に便利のように数表と地図にまとめたものである。今回の解析の特徴を挙げると次のようになる。

- (1) WMO（世界気象機構）の取り決めにより、世界のすべての海域における気象・海象のデータ収集、保管が国際的に統一された基準で行われるようになったので、北太平洋に関しても、日本の気象庁、アメリカ合衆国のNOAAに保管されている世界各国の船舶による総てのデータを利用することができた。そのため解析データ総数も400万をこえた。
- (2) 波高の観測には、有義波高（1/3最大平均波高）をとるよう、1963年以降、指導されるようになったので、波高データの質が向上したと考えられる。
- (3) 波高の区分を0 mより14.75 mまで、1 mずつの区分としたので、高波域での頻度分布の状況がよくわかるようになった。
- (4) 観測データ数が多かったので、日本近海の海区の区分を細かくした。従って、この海域での海象・気象の地域の特徴がよくわかるようになった。
- (5) 50 kt以上の強風、10 m以上の高波の観測数の海域分布を調べた。
- (6) 本書では、四季及び通年に対する統計解析結果を主として示した。月別の各種統計解析も行われているが、ローズ地図の形にまとめるまでに至らなかった。これらの利用価値も高いと思われるので、将来機会を見て発表できるようにしたい。
- (7) 本書の利用に際しては、波のデータがほとんど一般商船の目視観測によることに特に留意する必要がある。すなわち、観測者の慣熟の違いによる精度の不統一、船の大きさの違いにより波を観測する視点の水面上高さが異なり、観測値に影響すること、船は荒天避航をするので、強風や高波に遭遇する頻度が一般に減少していると考えられること、等である。

一般商船の目視観測データには、このような問題点があるが、本図表のデータは、最新の10年間に北太平洋に於いて船舶が遭遇し、人類が観測した風と波の情報を網羅した総合的な解析結果である。従って今後、北太平洋に於いて船舶が遭遇する海象・気象の特性を理解するのに役立つものと思う。

1.3 波浪観測値の理論分布

海洋波に対する船体応答の長期分布の理論的推定において、波浪観測結果を無修正で想定海象とした場合には、精度のよい結果は得られない。信頼度の高い想定海象を得る方法として、波浪観測結果から波高、波周期の発現頻度の理論分布を推定し、この理論分布から各波高、波周期別の発現頻度を求めた修正海象を提案する。

1.3.1 波高頻度分布

波高の頻度分布は前回報告書³⁾に示したように、確率密度関数 $P(H)$ が次式であらわされる対数正規分布に従うものとする。

$$P(H) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi} \sigma_H \cdot H} \exp \left\{ -\frac{(\log H - m_H)^2}{2 \sigma_H^2} \right\} \quad (1)$$

ここに m_H : $\log H$ の平均値

σ_H : $\log H$ の標準偏差

fig. 1.3.1, 1.3.2に北太平洋（0°N－55°N, 110°E－110°W）の全海域の波高の頻度分布を対数正規確率紙上にプロットをして示す。総ての波周期階級においても、確率紙上では直線となり、波高の頻度分布が対数正規分布によく一致することがわかる。

fig. 1.3.3は、各波周期階級の波高の平均値 m_H 、標準偏差 σ_H を示す。図では波周期が5秒未満の場合は4秒で、13秒以上の場合は14秒であらわしている。波周期が13秒未満の場合には、平均値は波周期とともに単調増加してい

る。13秒以上の場合にはどのような変化をするか不明であるが、13秒未満の部分の変化からみて、14秒以上は一定値とみなしても大きな誤差はないと言える。

波高の分布が対数正規分布に従うとすると、非常に高い波高の発現確率が大きいので、どのような波高まで対数正規分布に従うかが問題となる。本部会の波高の整理方法では、14.75 m 以上の波高はすべて一つの区分に含めてあり、14.75 m 以上の波高に対する発現頻度は不明であるが、**fig. 1.3.1**、**1.3.2**にみられるように、少なくとも波高が14.75 m までは対数正規分布に従うと考えられる。

また、超過確率では、実際の値は**fig. 1.3.2**にそれぞれの波周期区分の発現確率を乗じたものになるから、超過確率が 1×10^{-5} 程度までは対数正規分布に従うとみなせる。なお、Ochi⁷⁾はDraperによる西大西洋の波浪観測船IndiaとJuliettの観測波高の頻度分布を対数正規確率紙に記入した結果から、超過確率が 1×10^{-2} に対応する波高までは対数正規分布に従うとしている。北太平洋の観測結果は、Ochiが示した適応限界値より高い。

1.3.2 波周期頻度分布

波周期頻度分布がどのような分布形に従うかについて検討した例は少ない。

fig. 1.3.4に波周期の周辺分布を波高と同様に対数正規確率紙上に記入した結果を示す。図においてわかるように、直線性が良く、波高の頻度分布は対数正規分布に従うことがわかる。

他の確率分布について検討した結果では、波周期の頻度分布は、Weibull分布では近似できないが、打ち切り正規分布として表わすことができる。しかし、分布のパラメータの推定の手数からみて、対数正規分布とする方が簡単なので、対数正規分布に従うものとする。

1.3.3 北太平洋の修正海象

前節までに得られた波高、波周期の理論分布を用いて、北太平洋の海象を修正し、応答の理論的推定に信頼度の高い想定海象を導く。

前述の結果から、波高、波周期の頻度分布は対数正規分布で近似できるものとする。

波高と波周期の同時確率密度関数は次式で与えられるものとする。

$$P(H, T) dH dT = P(H) P(T) dH dT \quad (2)$$

ここに $P(T)$ …… 波周期の周辺分布の確率密度関数

$$P(T) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi} \sigma_T \cdot T} \exp \left\{ -\frac{(\log T - m_T)^2}{2 \sigma_T^2} \right\}$$

m_T : $\log T$ の平均値

σ_T : $\log T$ の標準偏差

$P(H)$ … 各波周期階級に対する波高の確率密度関数

各波周期階級に対する波高の確率密度関数 $P(H)$ に用いられる平均値 m_H 、標準偏差 σ_H は**fig. 1.3.3**に示す波周期との関係による変化から、次式で近似する。

$$m_H = \begin{cases} f(T) = aT^2 + bT + c & : T < 13 \\ f(T=14) \text{ (Const.)} & : T \geq 13 \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma_H = \text{Const.}$$

式(2)、(3)を用いて船の各種応答の長期分布を求めることができる。しかし、実際には、解析的取扱いは不便な面も多いので、波高、波周期別発現頻度表で表わす。北太平洋の全海域について、**Tab. 1**に修正前の海象を、**Tab. 2**に修正後の海象を示す。

真能等⁸⁾によれば、想定波浪海象の波高分布から推定した最大波高が、その基準発現確率 1×10^{-5} であれば、長期分布における応答の最大値の推定誤差を充分許容できることが示されている。また、前述のように、波高の分布は超過確率 1×10^{-5} 程度までは対数正規分布に従うことにより、修正海象の最低発現確率を 1×10^{-5} とした。

表の発現確率が 1×10^{-5} となる最大波高は、一般に高い値となっているが、実際に観測された最大波高が20 m以上の波高もあり、観測回数も相当の頻度で見出されているので、修正前の観測資料からみて、修正の結果として最大波高の値が過大になったものではない。

また、Ochi によると、北大西洋の波浪観測船 A～Mの10隻の10年間の波高の特性極値（Probable extreme value）の予測値は13.1～19.3 mとなっており、表の値ときわめて近い値をとっている。ここに示された北太平洋の最大波高の値は、海象観測船の専門家による観測値と比較をしても、過大とは言えない。

1.4 結 言

北太平洋における海象・気象に関する統計解析は、昭和51年度以降、4年間の研究により本年度で完了した。研究成果は「北太平洋の風と波の統計図表」にまとめられ出版された。今回の研究では、風と波の観測値の統計ばかりでなく、船舶の安全運航や設計値推定にとって重要である強風・高波などの異常海象の出現頻度の統計やその解析、海洋気象学的な考察も行った。これらの研究結果が今後、おおいに活用されることを期待したい。

今回の研究に際し、海象・気象観測データの整備・提供を行っていただいた気象庁海洋気象部海上気象課の方がた、アメリカ合衆国 NOAA の Climatic Center の関係者の方がたに改めて感謝の意をささげたい。

2. 波浪荷重・波浪等の実船計測

2.1 緒 言

波浪中を航走する船舶の外界条件と船体応答との相関に関する理論的解析は、最近非常に進歩してきており、その理論の適合度を確認するための実船計測も数多く実施されている。しかし、気象・海象および操船条件などの諸条件は、理論解析で取扱う少数のパラメタ以外の多数の要因にも支配される複雑なものであって、パラメタの値が等しくほぼ同一と考えられる外界条件下においても、船体応答の実船計測を数多く行ってみると、その結果は大きいバラツキを示すのがふつうである。

同一船舶におけるきわめて長時間の実船計測データを集積して、これを統計的に処理するという方法が要望されるのもこの理由によるわけで、異常値の推定という観点からでも、 10^{-8} (10^8 回に1回期待される最大値)程度の確率を論ずるためには、少なくとも4～5年の連続計測は必要であろう。わが国の実船計測では、研究組織や予算などの関係もあって、実船計測といっても短期間の単発的のものが多く、間口は狭くても息の長い長期連続の計測例が少ないのは残念である。

長期連続の計測を行うためには、計測項目を最少限に限定し、極力簡易化、自動化をはかる必要がある。さきに、SR124で実施した、7隻の船による自動計測⁹⁾などはこの方向を指向したもので、ある程度の成果をあげたものといえるであろう。

現在、船体応答解析における外界条件の波浪は、その周波数構造を考慮した波スペクトルの形で与えているのが普通で、その表示式には、ISSCスペクトル、ITTCスペクトルなど各種の提案がなされている。これらはいずれも、北大西洋海域における波浪計測結果に基いたもので、有義波高と平均波周期との二つのパラメタからスペクトル構造を推定しようとするものである。この表示式には、まだ議論の余地も多く残されており、^{10),11)} 欧米では現在もなお大型プロジェクトによる波浪計測が活潑に進められている。

わが国の造船・海運界に特に関係の深い北太平洋海域においては、目視観測データは多数集積されているが、計器による波浪計測結果、とくに波スペクトルが求められる形でのデータはきわめて少ない。実船計測時に船体応答と同時計測を行って解析の精密化をはかるためにも、また波スペクトルの特性やその長期傾向を知るためにも、ある海面またはある航路における長期の波浪計測の必要性が痛感される。

上記のような観点から、北太平洋航路の定期船によって、

- 1) 自動計測装置による長期連続の船体応答の自動計測を行うこと。しかも、統計解析を行うために、各種応答の r.m.s. 値、有義平均値および平均周期などを求めておくこと。
- 2) 波浪ブイによる波浪計測を行って、波スペクトルのデータをできるだけ多く集積すること。

を計画し、昭和51年10月から計測を継続実施している。

2.2 計測船および計測期間

計測は、山下新日本汽船(株)の好意によって、同社のコンテナ運搬船「米州丸」(24,191 tDW)によって行っている。同船の主要要目は **Tab. 2.1** に示すとおりである。

昭和51年度から5ヶ年継続の予定であるが、実際計測は昭和51年10月の第71次航から始まり、本報告には昭和55年1月の第110次航までのデータが収められている。

航路は、神戸→名古屋→横浜→シャトル→バンクーバー→ポートランド→神戸の順ではば一定しており、約1ヶ月の周期で巡航している。これまでの航路の概要を **fig. 2.1** に示す。往航(アメリカ向け)はやや南寄り、復航(日本向け)はやや北寄りを通ることが多いようである。

2.3 計測項目および計測点

波浪ブイの投入以外は完全に自動化して、長期連続の無人計測を行うため、計測項目は最小限に簡易化して、船体応答としては波浪曲げ応力と船体動揺のみとした。

波浪曲げ応力は、船体中央上甲板の左右舷の応力を合成し、水平曲げ成分を除いた上下曲げのみの1エレメントとし、これに縦揺れ・横揺れを加えた3エレメントの連続計測を行っている。

外界条件については、ときたま波浪ブイ投入による波浪計測を行うほかは、本船の乗組員に依頼して、外界条件記録表に3時間ごとに記入してもらっている。

2.4 計測装置および計測方法

昭和51年度からの継続研究であるから、詳細は51年度の報告¹⁾に譲り、要点だけを記すに止める。

船体応力は、抵抗線ひずみゲージおよび(株)共和電業製の動ひずみ計により計測する。毎回計測開始時(3時間ごと)に自動的に零バランスを取り直すようになっている。

動揺角は神戸電波(株)製の動揺計を用いて計測している。2ケの振子の回転角をポテンシオメータで検出して縦揺れ・横揺れを計るようになっている。

波浪計ブイは、SR132で開発した加速度検出方式の投棄式ブイである¹⁴⁾。ブイの上下加速度を抵抗線ひずみゲージ式の加速度計で検出し、FMテレメータで発信したものを本船上で受信し、2回積分を行って上下動(波高)の連続記録をとる。陸上でスペクトル解析処理を行うために、磁気テープに連続のアナログ記録をとるようになっている。波浪ブイは神戸電波(株)製のものである。

記録には、自動RMS計測装置とダイナミック自動データ集録装置各1台ずつを用いている。前者で3エレメントの3時間ごとのデジタル計測を行い、後者で毎日1回上記3エレメントのアナログ記録をとっている。波浪ブイ投入時には、後者によって波浪データを加えた4エレメントのアナログ記録を行っている。記録システムのブロック図をfig. 2.2に示す。

自動RMS計測装置は(株)計測技術研究所製のもので、3時間ごとに3エレメントを30分間ずつ切換えて90分間の計測を行っている。計測結果は

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| (1) 日 時 | (4) 正のピークの最大値 $X_{p.max}$ |
| (2) エレメント番号 | (5) 負のピークの最大値 $X_{N.min}$ |
| (3) ピーク値の r.m.s. 値 ($\sqrt{E}$) | (6) ゼロクロス回数の繰返し数 N |

の6項目としてパンチテープに打出されるようになっている。計測方法および各値の算出方法はfig. 2.3に示すとおりである。計算には0.18 secの間隔でサンプリングした値 X_i を用いている。(3)の $\sqrt{E}$ は累積エネルギー密度 E の平方根に相当する値で、ピーク計数方式によるピーク値 X_i の r.m.s. 値に相当するが、ここでは

$$\sqrt{E} = (\text{ピーク値 } X_i \text{ の r.m.s.}) = \sqrt{2} \times (\text{瞬時値 } x_i \text{ の r.m.s.})$$

として演算している。

ダイナミック自動データ集録装置は(株)共和電業製のもので、幅1/4インチの磁気テープに連続50時間のアナログ記録をとることのできるデータレコーダである。記録は、縦揺れ・横揺れ・甲板応力・波高の4エレメントであったが、昨年度5エレメントに改造して波浪ブイの上下加速度も記録できるようにした。

毎日1回30分だけ、波浪を除く3エレメントの記録を完全自動でとり、波浪ブイの投入時には半自動で5エレメントの記録をとるようになっている。

波浪ブイは、船の乗組員の判断で適時投入して貰うようにしているが、数がきわめて限られているので、なるべく150°～160°Eの間で投入するようにしている。

2台の記録装置で得られたパンチテープと磁気テープは、陸上において各種の処理解析装置を用いて、統計解析・

スペクトル解析を行っている。乗組員に依頼して得た海象・気象の外界条件表は陸上においてパンチテープに転記し上記計測データと対応させて処理を行っている。

2.5 計測結果

2.5.1 外界条件

第71～110次航における外界条件の頻度分布を **fig. 2.4** に示す。航海区間中、内海および沿岸の神戸一名古屋一横浜間およびシャトルーバンクーバーポートランド間などは記録に含まれていない。

区分は

波 高 : 1 m ごと12段階
船 速 : 2 kt ごと13段階
波周期 : 2 sec ごと7段階
風 速 : 10 kt ごと9段階
出合角 : 45 deg ごと8方向

として頻度分布を求めた。

風速と目視波高の関係を **Tab. 2.2** に、風力と目視波高との関係を **Tab. 2.3** に示す。波高 7 m を越えるデータは、昨年度は 3,516 データ中 67 (1.9%) であったが、今回は 4,288 データ中 78 (1.8%) となっている。

風速の各段階ごとの目視波高の平均値を **fig. 2.5** に、風力の各段階ごとの波高の平均値を **fig. 2.6** に示す。

出合角は、向い波と左前方波がいずれも 17～18% 程度で多く、右前方波がこれに次いでいる。この 3 者を合せた向い波と斜前方波で約 50%，横波が 20%，斜後方波と追い波が 30% 程度となっている。

2.5.2 自動 R・M・S 計による計測結果

縦揺れ・横揺れおよび甲板応力のピーク値（片振幅）の R・M・S 値と目視波高との関係を **Tab. 2.4**、**2.5** および **2.6** に示す。3 時間ごとに 30 分間ずつ計測演算したデータ 4,233 の分布状況を示すものである。

各枠内の数字はそれぞれの波高段階および R・M・S 値段階に相当するデータの個数で、上から向波・斜前方波・横波・斜後方波・追波と合計数との 6 段で表示している。

自動 R・M・S 計では R・M・S 値のほかに正負の最大値も記録されている。ピーク値の計測は、絶対ゼロを基準としたものではなく、その時点（30 分程度の short term）における平均値を基準としたものであり、この基準値の長周期の変動（ドリフト）は検出できない。正負のピーク値の最大値（max. Peak と min. Trough）を、さきの R・M・S 値の場合と同様に整理して、

Tab. 2.7、**2.8** に縦揺角の max., min.（船首浮上を正とする）

Tab. 2.9、**2.10** に横揺角の max., min.（左舷下りを正とする）

Tab. 2.11、**2.12** に甲板応力の max., min.（引張りを正とする）

を示した。横揺角では正負の値に有意の差は認められないが、縦揺れの場合は船首浮上側に、甲板応力の場合は圧縮（サグ）側に大きい絶対値が表われている傾向が見える。

fig. 2.7 は縦揺角の R・M・S 値および正負の最大値の段階別の頻度分布を示すヒストグラムで、それぞれ **fig. 2.4**、**2.7**、**2.8** の右端の欄の数字に対応するものである。**fig. 2.8** および **fig. 2.9** は、同様に横揺角および甲板応力のヒストグラムである。

横揺角の R・M・S 値（5.4 deg）、最大値（10.8 deg）、甲板応力の最大値（3.6 kg/mm²）の最高レベルの設定が適切でなかったため、最高レベルを超えたデータが相当多く表われている。最終的には更にレベル数を増加して整理し直す計画である。

各波高段階ごとに表われたデータの総平均をとって図示したものが、**fig. 2.10**（縦揺角）、**fig. 2.11**（横揺角）お

よび **fig. 2.12** (甲板応力) である。平均値の計算に当っては、各レベルに在るデータはすべてそのレベルの中央の値をとるものとして計算した。したがって、上記の横揺角の R.M.S. 値が 5.4 deg を超えるものはすべて 5.7 deg, 最大値 10.8 deg を超えるものはすべて 11.4 deg, 甲板応力の最大値 3.6 kg/mm² を超えるものはすべて 3.8 kg/mm² として計算してあるので、実際には平均値の曲線にこれらより少し高い値を示す方に移動するものと思われる。

これらの図における R.M.S. 値はピーク値 (片振幅) の root mean square で、累積エネルギー密度 E の平方根に相当する値である。ピーク値の短期分布は Rayleigh 分布に適合すると考えられ、その $1/3$ 最大平均値 (有義値) $S_{1/3}$ は、

$$S_{1/3} = 1.416 \sqrt{E} \quad (1)$$

となり、また N 回に 1 回の最大期待値の平均値 $S_{\max-N}$ は

$$\begin{aligned} S_{\max-N} &= \sqrt{\ln N} \times \sqrt{E} \\ S_{\max-100} &= 2.15 \sqrt{E} \\ S_{\max-200} &= 2.43 \sqrt{E} \\ S_{\max-1000} &= 2.63 \sqrt{E} \end{aligned} \quad (2)$$

と推定できる。

甲板応力について、R.M.S. ($\sqrt{E}$) を実測結果から **fig. 2.13** の太線のような直線と仮定すると、(1), (2) 式から推定される $S_{1/3}$, $S_{\max-100}$, $S_{\max-200}$ および $S_{\max-1000}$ は図示のようになる。図中の黒丸印は **fig. 2.12** の ● 印と × 印の平均をとったものであるが、計測時間 30 分間の約 200 回前後のピーク中の最大値の平均を示すもので、 $S_{\max-200}$ の線に対応すべきものであるが、大体よい一致を示しているものと考えられる。

R.M.S. 値および正負の最大値を統計確率紙にプロットしたものが **fig. 2.14**, **2.15** および **2.16** である。これらはいずれも **Tab. 2.4 ~ 2.12** の表の右端の数字から計算したものであるが、最も大きい値 (各図の最上段の点) のみは前報と同様に

縦揺角	11.9 deg
横揺角	19.8 deg
甲板応力	7.9 kg/mm ²

の値を用いた。これは比較的荒天の 3 航海のみについて、個々の最大値を詳細に調査した結果である。その後の 1 年間ではこれを超える値は出現していないが、全データを調査した訳ではないので、まだ大きい値がある可能性もあるということで右向きの矢印を付してある。

2.5.3 波浪計測結果

波浪ブイによる波浪計測の結果を **Tab. 2.13** および **fig. 2.17** に示す。統計解析はゼロクロス振幅計数法 (Range Count), スペクトル解析は相関法で実施している。比較のため波浪の目視観測結果も表示してある。

波浪計測時には、船体動揺・甲板応力などの応答も同時計測してあるが、今回は再生処理装置の故障のため、波浪と応答との相関の解析は十分に行うことができなかったので詳細は次報に譲ることとする。

2.6 結 言

長期連続の半自動実船計測も満 3 年余を経過した。各装置とも特に大過はないが、今回は R.M.S. 計が 2 航海分は誤動作が多く、本報には 12 航海中 10 航海分のデータしか追加されていない。

本計測もあと 1 年間だけとなったが、明年度は蓄積されたデータに総合的な整理解析を加え、外国の計測結果^{12, 13)} などとも対照させて検討を加える予定である。

終始多大の御協力を頂いている「米州丸」の関係各位に深甚の謝意を表する。

3. 海洋気象観測船啓風丸による波浪観測実験

3.1 概 要

海洋における実船計測を行う場合、外界条件としての波浪の情報を得ることは最も基本的なことである。船体応答の計測に比べて、波浪計測は格段に難しく、適当な波浪計測手段を開発することが求められて久しい。実船の波浪荷重推定の精密化のため行われた研究（SR131, SR132, SR133, SR134）においても、波浪計測装置の開発が一つの主要テーマとなり、SR132部会において研究が行われた。^{14, 15)} この研究では、ブイ式、船載式など各型式の波浪計の性能が比較され、それぞれの特徴が明らかにされた。この研究で開発された波浪計はその後、多くの実船計測に活用されている。

前章で述べられた長期実船計測でもそのうちの一つが使用されている。

一方、海洋の波浪に関する情報を広く集めることは、船の安全運航、経済運航にとって不可欠のものであるばかりでなく、船舶や海洋構造物の設計値の推定のためにも必要となってきた。第一章で述べたような、目視観測データの統計は、海洋の全般的な傾向一波候一を理解するのに或る程度有効であるが、定量的な波浪情報として利用するためには、波浪スペクトラムの形で表現することが望ましい。波浪スペクトラムに関するデータは気象庁はじめいくつかの機関によって収集されているが、海域的、季節的に広くカバーできるデータを得るために、さらに多くの波浪観測を行わなければならない。その場合、各種船舶に手軽に装備することができる波浪計の開発と、波浪データの収集、管理に便するような記録、解析のシステムの併用が不可欠である。

そこで、昭和54年度では、船載式、ブイ式等の種々の現存波浪計の比較実験を行い、特に船載式波浪計の性能を調査した。

3.2 試験結果

波浪計測実験は、気象庁海洋気象観測船啓風丸の波浪観測航海に乗船して、前後2回おこなわれた。使用した波浪計は、長期実船計測に使用しているものと同型の東大生産技術研究所加速度ブイ式波浪計と、船研で新しく開発した超音波式船側出会波浪計の2種類と、啓風丸所有の波浪計2種及び海底設置の定置式波浪計である。計測システムを **fig. 3.1** に示す。

3.2.1 第1回波浪計測実験（予備実験）

第1回の実験は、昭和54年4月13日から同15日までの3日間、仙台沖の海域で実施された。この海域にある江の島には、気象庁の定置式波浪計が設置されている。試験の一覧表を **Tab. 3.1** に示す。合計13ケースの実験が行われたが、このうちTest No13, 23及び31の3ケースは、各種波浪計の比較試験である。啓風丸の航路図を **fig. 3.2** に示す。

波浪の記録の1例を **fig. 3.3** に示す。計測量はアナログデータレコーダーに記録され、下船後これをA/D変換し、解析した。

船研波浪計、タッカー式波浪計及び江の島の定置式波浪計による波スペクトラムを、**fig. 3.4**～**3.6** にそれぞれ示す。これは4月14日の観測結果をまとめて示したもので、波スペクトラムの時間変化を知ることができる。波のスペクトラムのピークは、 $\omega = 0.56$ ($T = 11.2$ 秒) である。

各種波浪計による波スペクトラムを比較したものが **fig. 3.7** (a)～(c) である。

3.2.2 第2回波浪計測実験

第2回の実験は、昭和54年11月22日から29日までの8日間にわたり、伊豆半島周辺海域で行われた。観測船は第1回実験と同じ啓風丸であり、使用した波浪計も第1回と同じ4種類（啓風丸タッカー式、同PMS、東大生産研

加速度ブイ及び船研式)と、石廊崎沖に設置されている気象庁定置波浪計である。このほか、平塚沖に設置されている防災科学センターの定置波浪計や伊豆大島波浮港に設置されている定置波浪計のデータとの比較も行われた。

予備実験の結果、船研式波浪計については、若干の改良がなされた。即ち、(1)超音波の出力を向上させるため、発振素子の数を4個から6個に増加した。(2)信号処理の時定数を調節し直した。これらの改造により、超音波信号の反射を受信しない状態が大幅に減少するとともに、欠測時の信号処理も改善された。

第2回実験の一覧表をTab. 3.2に示す。またこの間の、啓風丸の航路図をfig. 3.8に示した。延べ7日間に合計35回の波浪計測実験を行ったが、そのうち9回は各種波浪計の比較実験であった。

船研式出会波浪計とタッカー式波浪計で計測した波の記録を解析して得た波スペクトラムを、各観測日ごとにまとめて画いたのが、fig. 3.9(a)~(g)及びfig. 3.10(a)~(g)である。タッカー式波浪計のデータは、気象庁の解析システムにより解析されたものである。Tab. 3.3にはタッカー式により計測された波の統計値等を示した。

また各種波浪計による波スペクトラムを比較した図が、fig. 3.11(a)~(c)である。fig. 3.12(a), (b)はタッカー式によるものと、石廊崎の定置式波浪計によるものを比較したものである。

3.3 考 察

3.3.1 第1回波浪計測実験について

第1回実験の波スペクトラムを比較したものが、fig. 3.7(a), (b), (c)である。これによると、波浪の比較的大きかったTest No.23と31については、どの波浪計による波スペクトラムもお互に似た形状をしていることがわかる。波スペクトラムより、波高の分布がRayleigh分布であるとして計算した波高及び、波スペクトラムのピーク値を示す周期を比較して示したのがTab. 3.3である。

Tab. 3.3 各種波浪計による波高と波周期の比較

	Test No. 23		Test No. 31	
	$H_{1/3}$ (m)	T (sec)	H_w (m)	T (sec)
SRI	1.7	11.2	2.8	10.5/8.1
TU-Buoy	2.0	11.2	2.3	10.1/8.0
Tucker	1.7	11.0	2.5	10.5/8.1
PMS			2.0	10.5/8.2
Enoshima	1.8	10.4		
Visual Obs.	1.8	9/6	1.8	9/7

これによっても、各波浪計による有義波高の差が大きくないことがわかる。

なお、fig. 3.7(a)に示した、Test No.13の場合は、波も小さく、また超音波式船測出会波浪計の信号が時々受からない場合も含まれているので、波スペクトラムの一致は良くない。

3.3.2 第2回波浪計測実験について

(1) 天気概況と波

1979年11月22日~29日の期間、日本付近は気圧の谷が周期的に通る、(22日~23日、25日~26日、28日~29日)23日及び29日の低気圧通過後は一時的に冬型の気圧配置になったが、全般的には北高型で、本州南岸沖に前線が発生しやすく、関東南岸は北東の風が卓越した。(fig. 3.13参照)

11月22日：高気圧が北海道の東海上にあるが、九州の南西には低気圧があり、前線が本州南岸に停滞している。09時の外洋波浪図によれば、高気圧の南縁にあたる関東の東海上では東北東5mの波を解析しており、また石廊崎~大島近海も北東または東の風20ノット位である。石廊崎の波浪計の観測とTucker式の波浪計の観測の結果

を **fig. 3.12** に示すが、これによると石廊崎では周期 8 ～ 9 秒にエネルギー密度の高い所が現われているのは、これのためと思われる。有義波高は、石廊崎で 1.5 m 前後、波浮沖で 3.0 m 前後である。

11月24日：前日、九州南西にあった低気圧は、関東南岸に進み、このため八丈島では 09 時に南西の風が 25 ノット吹いている。石廊崎で 12 時ごろ 10 ～ 11 秒の周期に高いエネルギー密度を観測しているが、この低気圧のウォームセクターにおける南系の風によって発生した波が伝播してきたものであろう。低気圧が東海上に去ったあとは、一時的に冬型の気圧配置となっており、西風が 10 ～ 20 ノット吹いている。周期 7 秒付近のエネルギーは、この西風による風浪に対応する。西風に変ってから石廊崎は次第に波高が増大し、有義波高で 2 m 位になっている。

11月24日～28日：西風は長続きせず、この期間は主に北東風が支配している。石廊崎～大島近海で 10 ～ 20 ノット、波浮沖や三宅島付近では一時 30 ノットも吹き、東のフェッチが長いことも考え併せると、伊豆諸島の東側ではかなり波が高くなっていることが予想される。現実には、波浮沖ではこの期間有義波高 3 m 前後で推移しており、一方、地形の遮へい効果を受ける石廊崎では 1.0 ～ 1.5 m 程度である。東からのうねりのため石廊崎のエネルギー密度は 10 秒以上の長周期側で高い。波浮沖では、11 ～ 12 秒のエネルギーピークの他に、5 ～ 6 秒にもピークが見られ、ここではうねりと風浪が共存していることがわかる。

11月29日：日本海と本州南岸沿いを東に進んだ低気圧が日本の東海上に抜け、関東南岸沖は全般に西風に変っている。石廊崎～大島近海は 20 ～ 25 ノット、新島では 35 ノットの強い風が吹いている。このため、石廊崎では昼ごろから波高が高まり、7 秒付近にエネルギーピークを作っている。**fig. 3.14** に石廊崎で測った波スペクトラムの等エネルギー密度図を参考のため示した。

(2) 波スペクトラムの比較

fig. 3.11 (a) ～ (c) に、各種波浪計による波スペクトラムを比較したものを示した。これらの図によっても、第 1 回の波浪計測実験のときの結果と大差ない結果が得られていると言える。第 2 回の実験では有義波高が 3 m に達する、かなり顕著な波に遭遇したので、各種波浪計の比較にも好都合であった。すなわち 2 ～ 3 m 程度の中位の波浪に頻繁に遭遇し、その中で波浪のデータも数多くとることができた。今回の実験の一つの眼目であった、タッカー式と、超音波式船側出会波浪計との比較に関するデータも **fig. 3.9** ～ **fig. 3.10** に示すように多数とることができた。これらの図から、両型式の波浪計で同時に観測した波のスペクトラムを比較してみると、**Tab. 3.2** の Comment の欄に示すように、両者のよく一致するのは 19 ケース中 10 ケース (Good) である。残りの 9 ケースのうち 8 ケースは、両者のスペクトラムの形状、エネルギー最大の周波数の値などはよく合っているが、スペクトラムの値に若干の差が見られるもの (Similar) である。

このように、両波高計で測った波のスペクトラムの大半はよく似た形状と値を示すが、高周波数域 ($\omega > 1.2$) では、超音波式船側出会波浪計で測った波が高いエネルギーを持つようになっている。これは、Tucker 式が水面下の船側にかかる水圧を測定しているのに対し、船側出会波浪計は水面の上下変位を測定するため、短かい波も忠実に記録するためと考えることができる。

Tucker 式波浪計は両舷に一對設けられているが、啓風丸では、風上側の波浪計を用いることとしている。今回の実験では、右舷に超音波式を取付けたため、常に右舷を風上にして測定している。

3.4 結 言

本年度は前後 2 回にわたり、各種波浪計の比較観測実験を行った。使用した波浪計は、船載式 (Ship-borne Wave Recorder) としては、Tucker 式波浪計と、超音波式船側出会波浪計の 2 つであり、ブイ式としては、PMS 式と加速度ブイ式の 2 種である。このほか、海底設置の超音波式波浪計の記録も入手し、前記の記録と比較した。

実験では主として Tucker と超音波式船側出会波浪計の比較が行われたが、全部の波浪計を同時に使用した実験も随時行った。波の記録は、気象庁、船研、東大生産研においてそれぞれスペクトル解析された。

スペクトルを比較した結果、各波浪計で得たスペクトラムはお互に一致はしないが、大同小異であり、スペクトラムのピーク値を示す波周波数やスペクトラムから導いた有義波高の値はかなり近い値を与えることがわかった。また、スペクトラムの形もかなりよく似ていることがわかる。

このような結果は、既に SR132 部会で行った波浪計の比較実験でも明らかにされているが、今回の実験結果の方がさらによくまとまった結果を示しているように思う。これは、その後、波浪計の改良が行われたことと、使用実績が積み重なり波浪計測の経験を積んだこと、データ収集、解析のシステムが整備されてきたこと、などによるものである。

今回使用した波浪計にもそれぞれ一長一短あり、決定的な波浪計は未だ得られていないが、このように各種波浪計の信頼度が向上したことは、波浪データの収集、波スペクトルの研究に対する要望が強まっている今日、有力な計測手段を得たことになる。今後はなるべく多くの船舶に波浪計を搭載して波のデータ収集を行うとともに、手軽な波浪計とオンラインで結合された解析装置の実用化が推進される必要があろう。

昭和55年度は、これらの目標をかかげ、なお実船計測を行う予定である。

本実船計測は気象庁海洋気象部の御好意により同庁海洋気象観測船啓風丸の波浪計測航海に、実験担当者が乗船して実施したものである。海洋気象部の関係者の方がた、松野正治船長はじめ啓風丸乗組員の方がたの御協力に心から感謝の意を表わす次第である。

なお、第1回波浪計測実験には、能勢義昭委員（東大生産技術研究所）、不破健氏（船研運動性能部）、二村正氏（同）が乗船し、第2回実験には、能勢義昭委員のほか、原口富博氏（船研運動性能部）、山川賢次氏（船研海洋開発工学部）が乗船したことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 第 163 研究部会：“気象海象および船舶の波浪中応答に関する統計解析ならびに実船計測”造船研究協会，研究資料 No 277（52 年 3 月）
- 2) 同 上 No 293（53 年 3 月）
- 3) 同 上 No 312（54 年 3 月）
- 4) Yamanouchi, Y. et al.; “On the Winds and Waves on the Northern North Pacific Ocean and South Adjacent Seas of Japan as the Environmental Condition for the Ship”, Papers of Ship Research Institute, No. 5 (1965)
- 5) Yamanouchi, Y. and A. Ogawa; “Statistical Diagrams on the Winds and Waves on the North Pacific Ocean”, Papers of Ship Research Institute, Supplement No. 2 (1970)
- 6) SR163 Research Panel; “Winds and Waves of the North Pacific Ocean”, The Shipbuilding Research Association of Japan, (March 1980)
- 7) Ochi, M.K.; “Wave Statistics for the Design of Ships and Ocean Structures”, trans SNAME, vol. 86, 1978, pp. 47-76
- 8) 真能創，河辺寛；“海洋波に対する応答の長期分布の理論的推定における想定海象について（第 3 報）”日本造船学会論文集 第 142 号（昭和 52 年 12 月） pp 49～57
- 9) SR 124；“大型鉾石船の船首部波浪荷重および鉾石圧に関する実船試験”，造船研究協会報告，81（1976）
- 10) ISSC Committee I-1; “Environmental Conditions”, Proc. 6th I.S.S.C., 1976, Boston (1976)
- 11) ISSC Committee I-1; “Environmental Conditions”, Proc. 7th I.S.S.C., 1979, Paris (1979)
- 12) Fain, R.A. et al.; “Results of the First Five DATA YEARS of Extreme Stress Scratch Gauge Data Collected Aboard Sea-Land's SL-7's”, Ship Structure Committee, SSC-286 (SL-7-25), 1979
- 13) Dalzell, J.F. et al.; “Examination of Service and Stress Data of Three Ships for Development of Hull Girder Load Criteria”, Ship Structure Committee, SSC-287, 1979
- 14) 第 132 研究部会；“実船搭載用波浪計に関する研究”，日本造船研究協会，研究資料 No 164（1973），No 193（1974）および No 214（1975）
- 15) 高石敬史ほか；“船載式出会波浪計の性能について”，船研報告，第 13 巻，第 4 号（1976）

Figures and Tables 附図・附表

- Fig. 1.3.1 Cumulative Probabilities of Significant Wave Heights on Log-normal Paper, Annual, All Period, Zone (0°N – 55°N , 110°E – 110°W)**
波高の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット, 通年全周期, 全海域
(0°N – 55°N , 110°E – 110°W)
- Fig. 1.3.2 Cumulative Probabilities of Significant Wave Heights on Log-normal Paper, Annual, Zone (0°N – 55°N , 110°E – 110°W)**
波高の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット, 通年, 全海域
- Fig. 1.3.3 Means and Standard Deviations of Log-normal Probability Distribution for Various Wave Period**
各波周期階級に対する対数正規分布の平均値および標準偏差
- Fig. 1.3.4 Cumulative Probability of Wave Period on Log-normal Paper**
波周期の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット
- Tab. 1.1 Wave Frequency, Zone (0°N – 55°N , 110°E – 110°W) Annual**
波高, 波周期発現頻度表, 全海域, 通年
- Tab. 1.2 Corrected Wave Frequency, Zone (0°N – 55°N , 110°E – 110°W), Annual**
修正波高, 波周期発現頻度表, 全海域, 通年
- Tab. 2.1 Details of “BEISHU MARU”**
米州丸主要要目
- Fig. 2.1 Course of “BEISHU MARU”**
米州丸の航路
- Fig. 2.2 Block Diagram of Measuring and Recording System**
計測記録システムブロック図
- Fig. 2.3 Block Diagram of Automatic R.M.S. Meter**
自動 R. M. S. 計のブロック図
- Fig. 2.4 Frequency Distribution of Environmental Conditions**
外界条件の頻度分布
- Tab. 2.2 Wind Velocity vs. Visual Wave Height**
風速と目視波高
- Tab. 2.3 Beaufort Wind Scale vs. Visual Wave Height**
風力と目視波高
- Fig. 2.5 Wind Velocity vs. Visual Wave Height**
風速と目視波高
- Fig. 2.6 Beaufort Wind Scale vs. Visual Wave Height**
風力と目視波高
- Tab. 2.4 Frequency Distribution of RMS of Pitching Angle**
縦揺角の R M S 値の頻度分布
- Tab. 2.5 Frequency Distribution of RMS of Rolling Angle**
横揺角の R M S 値の頻度分布
- Tab. 2.6 Frequency Distribution of RMS of Deck Stress**
甲板応力の R M S 値の頻度分布
- Tab. 2.7 Distribution of Max. Value of Pitching Angle (Bow Up)**
縦揺角の最大値の頻度分布 (船首上り)
- Tab. 2.8 Distribution of Max. Value of Pitching Angle (Bow Down)**
縦揺角の最大値の頻度分布 (船首下り)
- Tab. 2.9 Distribution of Max. Value of Rolling Angle (Port Down)**
横揺角の最大値の頻度分布 (左舷下り)
- Tab. 2.10 Distribution of Max. Value of Rolling Angle (Port Up)**
横揺角の最大値の頻度分布 (左舷上り)

Tab. 2.11 Distribution of Max. Value of Deck Stress (Tention)

甲板応力の最大値の頻度分布（引張）

Tab. 2.12 Distribution of Max. Value of Deck Stress (Compression)

甲板応力の最大値の頻度分布（圧縮）

Fig. 2.7 Histograms of Pitching Angle.

縦揺角のヒストグラム

Fig. 2.8 Histograms of Rolling Angle

横揺角のヒストグラム

Fig. 2.9 Histograms of Wave Bending Stress

波浪曲げ応力のヒストグラム

Fig. 2.10 Visual Wave Height vs. Mean Value of Pitching Angle

目視波高と縦揺角の平均値との関係

Fig. 2.11 Visual Wave Height vs. Mean Value of Rolling Angle

目視波高と横揺角の平均値との関係

Fig. 2.12 Visual Wave Height vs. Mean Value of Wave Bending Stress

目視波高と波浪曲げ応力の平均値との関係

Fig. 2.13 Estimated Mean of Max. and Significant Value of Wave Bending Stress

波浪曲げ応力の最大値および有義値の推定平均値

Fig. 2.14 Probability of Pitching Angle

縦揺角の確率

Fig. 2.15 Probability of Rolling Angle

横揺角の確率

Fig. 2.16 Probability of Wave Bending Stress

波浪曲げ応力の確率

Tab. 2.13 Results of Wave Measurements

波浪計測結果

Fig. 2.17 Wave Spectra

波浪スペクトル

Tab. 3.1 The First Experiment of Wave Measurement at Sea

第1回波浪計測実験一覧表

Fig. 3.1 Arrangement of Experiment on Board

波浪計測実験の配置図

Fig. 3.2 Route of the Ocean Weather Ship "Keifu-maru" during the First Experiment

第1回波浪計測実験の啓風丸航路図

Fig. 3.3 An Example of Wave Records

波浪記録の1例

Fig. 3.4 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Ultrasonic Type

船側出会波浪計による波スペクトラム

Fig. 3.5 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Tucker Type

タッカー式波浪計による波スペクトラム

Fig. 3.6 Wave Spectra by Off-shore Wave Recorder

定置式波浪計による波スペクトラム

Fig. 3.7 Comparison of Wave Spectra Obtained by Various Wave Recorder

(a)~(c) 各種波浪計による波スペクトラムの比較

Tab. 3.2 The Second Experiment of Wave Measurement at Sea

第2回波浪計測実験一覧表

Fig. 3.8 Route of the Ocean Weather Ship "Keifu-maru" during the Second Experiment

第2回波浪計測実験の啓風丸航路図

Fig. 3.9 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Ultrasonic Type

(a)~(g) 船側出会波浪計による波スペクトラム

Fig. 3.10 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Tucker Type

(a)~(g) タッカー式波浪計による波スペクトラム

Fig. 3.11 Comparison of Wave Spectra Obtained by Various Wave Recorder

(a)~(c) 各種波浪計による波スペクトラムの比較

Fig. 3.12 Comparison of Wave Spectra Obtained by Ship Borne Wave Recorder

(a), (b) and Off-shore Wave Recorder at Irōzaki

タッカー式(啓風丸)と定置式(石廊崎)波浪計による波スペクトラムの比較

Tab. 3.3 Comparison of Wave Height and Period by Various Wave Meter

各種波浪計による波高と波周期の比較

Fig. 3.13 Weather Charts during the 2nd Experiment

第2回波浪計測実験期間の地上天気図(1979年11月22日~29日)

Fig. 3.14 Equi-energy Density Curve of Wave Spectra Measured by the Off-shore Wave Meter at Irōzaki

石廊崎沿岸波浪計による等エネルギー密度図

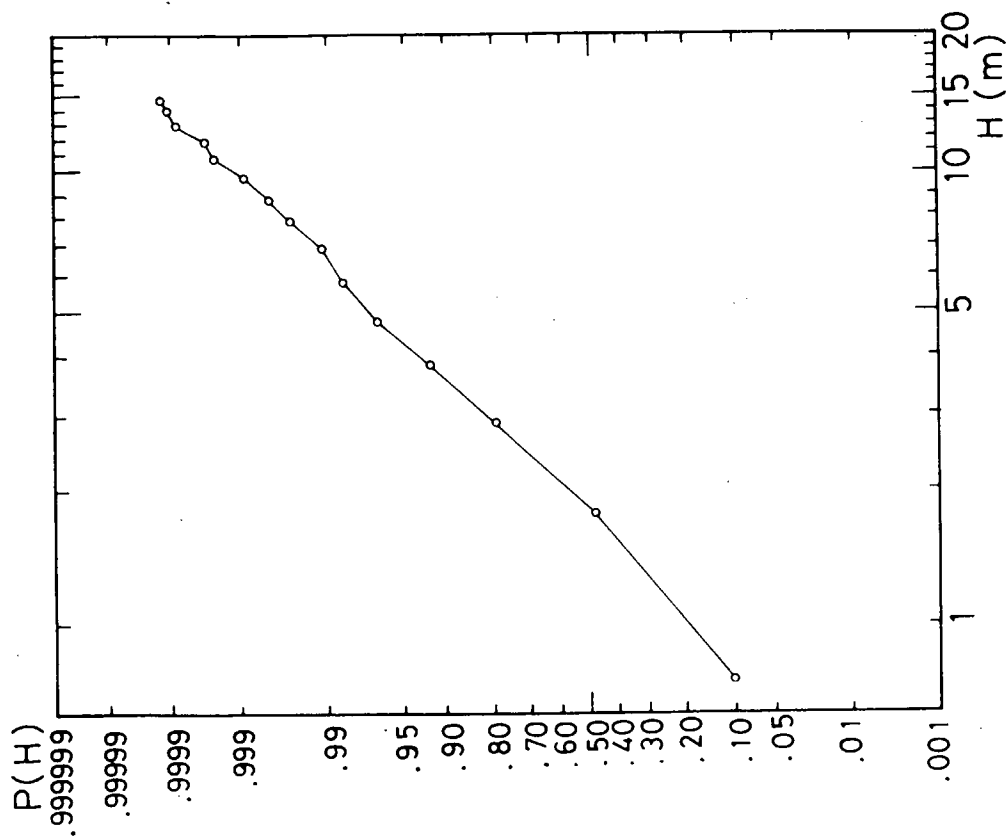


Fig. 1.3.1 Cumulative Probabilities of Significant Wave Heights on Log-normal Paper, Annual, All Period, Zone ($0^{\circ}\text{N}-55^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{W}$)
 波高の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット, 通年全周期, 全海域 ($0^{\circ}\text{N}-55^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{W}$)

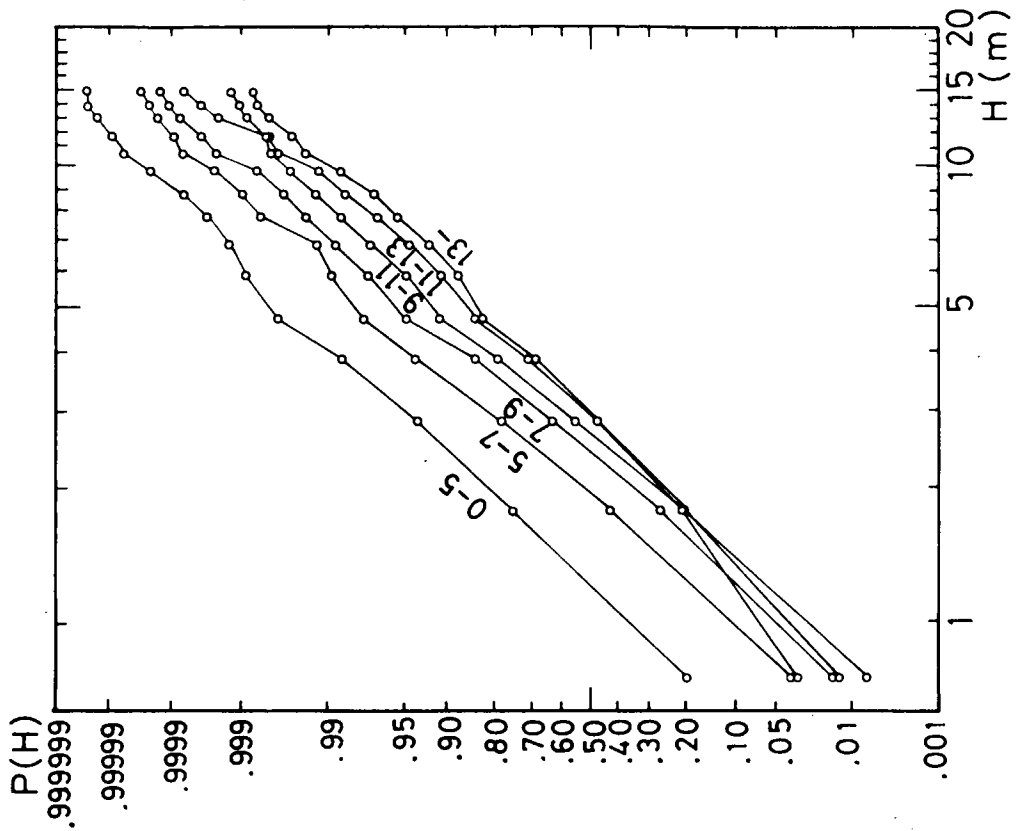


Fig. 1.3.2 Cumulative Probabilities of Significant Wave Heights on Log-normal Paper, Annual, Zone ($0^{\circ}\text{N}-55^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{W}$)
 波高の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット, 通年, 全海域

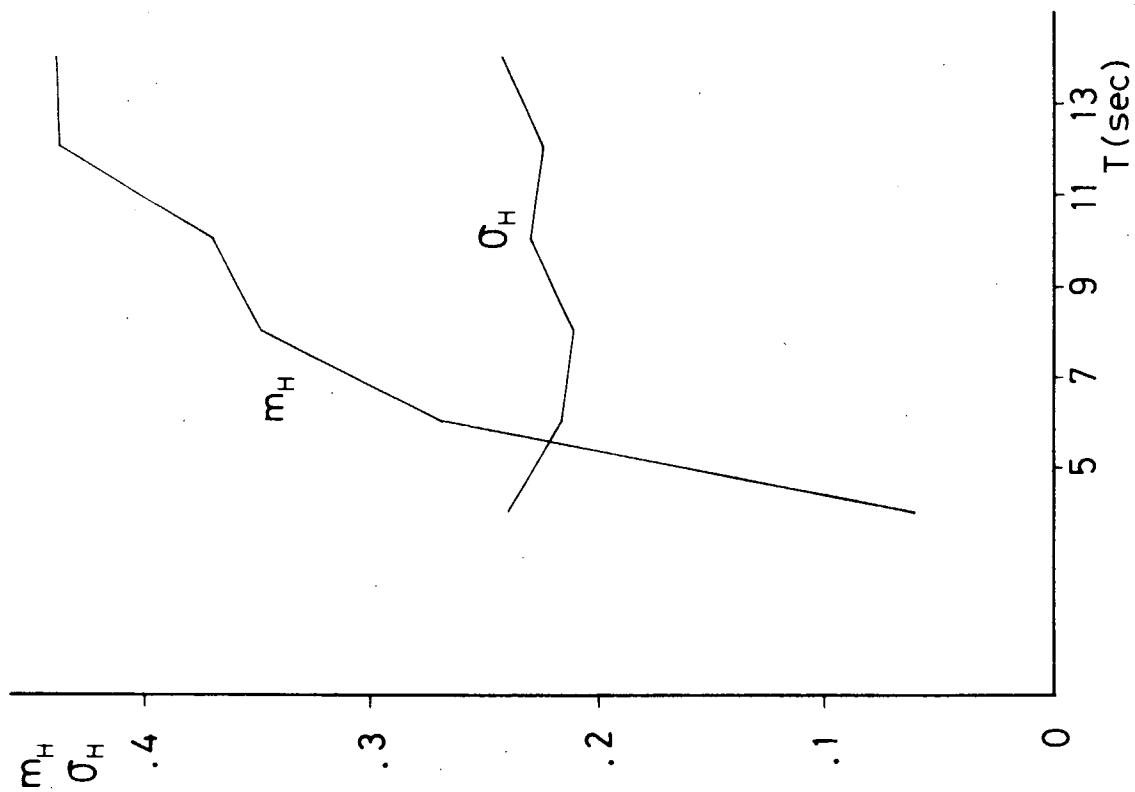


Fig. 1.3.3 Means and Standard Deviations of Log-normal Probability Distribution for Various Wave Period
各波周期階級に対する対数正規分布の平均値および標準偏差

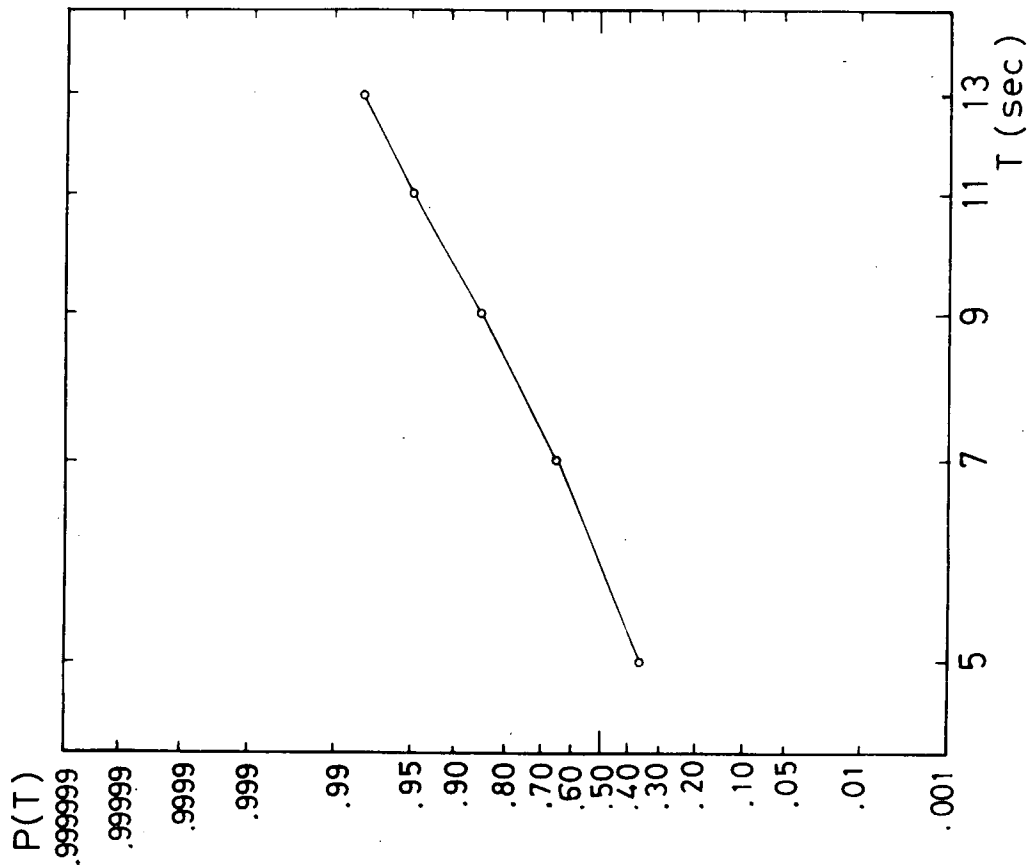


Fig. 1.3.4 Cumulative Probability of Wave Period on Log-normal Paper
波周期の頻度分布の対数正規確率紙上へのプロット

Tab. 1.1 Wave Frequency, Zone (0°N–55°N, 110°E–110°W) Annual
波高，波周期發現頻度表，全海域，通年

Wave Height (m)	Wave Period (sec)						Sum over All Period
	0 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 9	9 ~ 11	11 ~ 13	13 ~	
~ 0.75	9.053	0.970	0.308	0.197	0.023	0.022	10.573
~ 1.75	25.302	10.305	4.445	0.984	0.677	0.274	41.987
~ 2.75	8.140	9.226	6.798	1.973	0.820	0.423	27.380
~ 3.75	2.174	3.942	3.796	1.380	0.786	0.296	12.374
~ 4.75	0.489	1.171	1.782	0.653	0.452	0.214	4.761
~ 5.75	0.070	0.269	0.558	0.235	0.186	0.064	1.382
~ 6.75	0.023	0.102	0.219	0.135	0.130	0.068	0.677
~ 7.75	0.015	0.141	0.124	0.078	0.076	0.045	0.479
~ 8.75	0.008	0.023	0.043	0.032	0.043	0.023	0.172
~ 9.75	0.004	0.013	0.025	0.018	0.025	0.021	0.106
~ 10.75	0.001	0.007	0.023	0.009	0.018	0.011	0.069
~ 11.75	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009
~ 12.75	0.000	0.001	0.003	0.009	0.003	0.003	0.019
~ 13.75	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
~ 14.75		0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
14.75 ~	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.007
Sum over All Height	45.279	26.172	18.128	5.708	3.244	1.469	100.000

Tab. 1.2 Corrected Wave Frequency, Zone (0°N–55°N, 110°E–110°W), Annual
修正波高，波周期發現頻度表，全海域，通年

Wave Height (m)	Wave Period (sec)						Sum over All Period
	0 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 9	9 ~ 11	11 ~ 13	13 ~	
~ 0.75	8.813	1.823	0.285	0.051	0.014	0.011	10.997
~ 1.75	25.176	14.157	4.637	1.319	0.435	0.314	46.038
~ 2.75	7.203	9.093	5.141	2.025	0.758	0.514	24.734
~ 3.75	1.607	3.457	2.851	1.415	0.581	0.377	10.288
~ 4.75	0.389	1.232	1.340	0.790	0.348	0.218	4.317
~ 5.75	0.106	0.452	0.612	0.413	0.192	0.117	1.892
~ 6.75	0.032	0.175	0.283	0.214	0.104	0.062	0.870
~ 7.75	0.011	0.071	0.134	0.112	0.056	0.033	0.417
~ 8.75	0.004	0.031	0.066	0.059	0.031	0.018	0.209
~ 9.75	0.001	0.014	0.033	0.032	0.017	0.010	0.107
~ 10.75	0.001	0.006	0.017	0.018	0.010	0.006	0.058
~ 11.75		0.003	0.009	0.010	0.006	0.003	0.031
~ 12.75		0.002	0.005	0.006	0.003	0.002	0.018
~ 13.75		0.001	0.003	0.004	0.002	0.001	0.011
~ 14.75			0.002	0.002	0.001	0.001	0.006
~ 15.75			0.001	0.001	0.001		0.003
~ 16.75			0.001	0.001	0.001		0.003
~ 17.75				0.001			0.001
~ 18.75							
~ 19.75							
~ 20.75							
Sum over All Height	43.343	30.517	15.420	6.473	2.560	1.687	100.000

Tab. 2.1 Details of "BEISHU MARU"

米州丸主要要目

Beishu Maru (Container Carrier)					
Length	over all		212.5	m	
Length	P.P.		200.0	m	
Breadth	mld		30.0	m	
Depth	mld		16.3	m	
Draft	design		10.526	m	
Displacement at summer draft			37,073	t	
Dead Weight			24,191	t	
Light Weight			12,882	t	
Gross Tonnage			23,668	t	
Net Tonnage			12,939	t	
Machinery		Mitsubishi Sulzer 9RND 105			
M.R./RPM		34,200 PS / 108 RPM			
Speed			23.5	kt	
Owner :		Yamashita-Shinnihon Steamship Co.			
Builder :		Mitsubishi Heavy Industry Co.			
Builed Year :		October 1970			
Sectional Modulus	I/Y	Deck	184,825	cm ² -m	
"	"	I/Y Keel	198,291	cm ² -m	

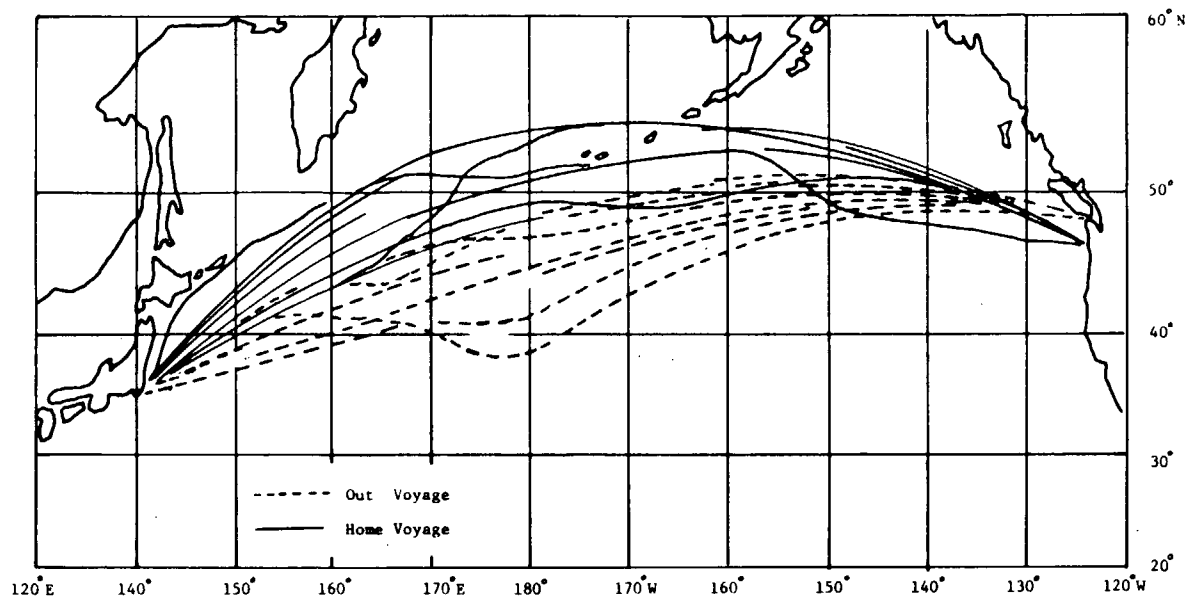


Fig. 2.1 Course of "BEISHU MARU"

米州丸の航路

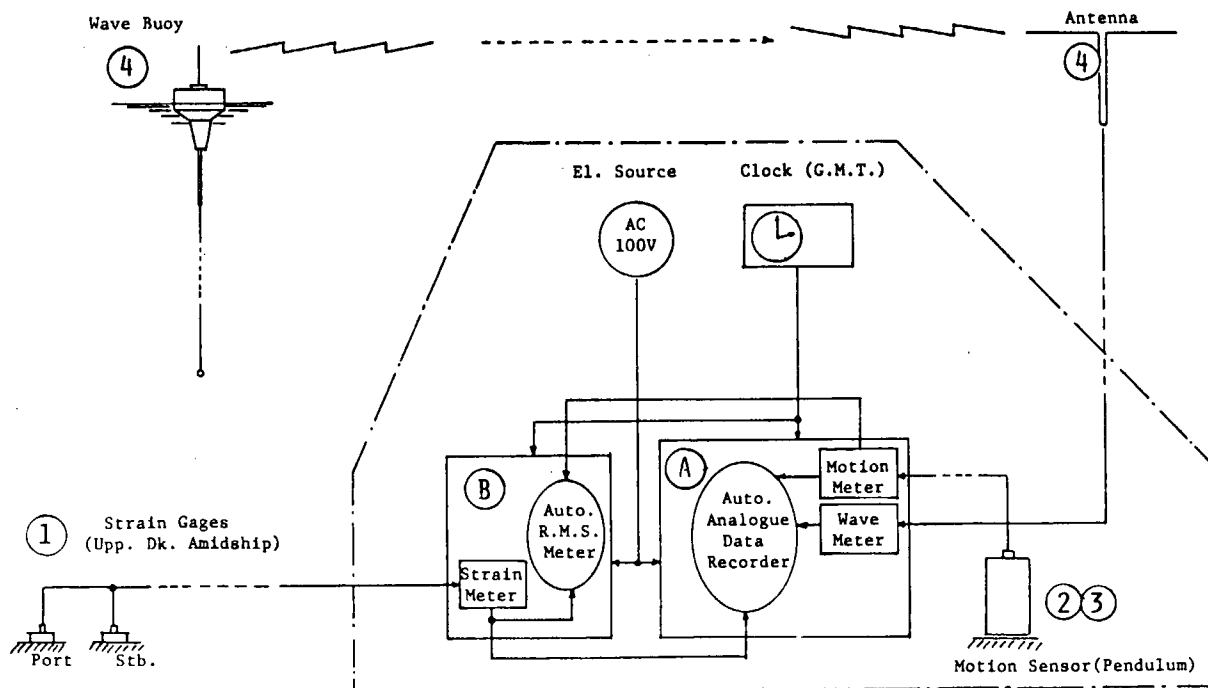


Fig. 2.2 Block Diagram of Measuring and Recording System

計測記録システムブロック図

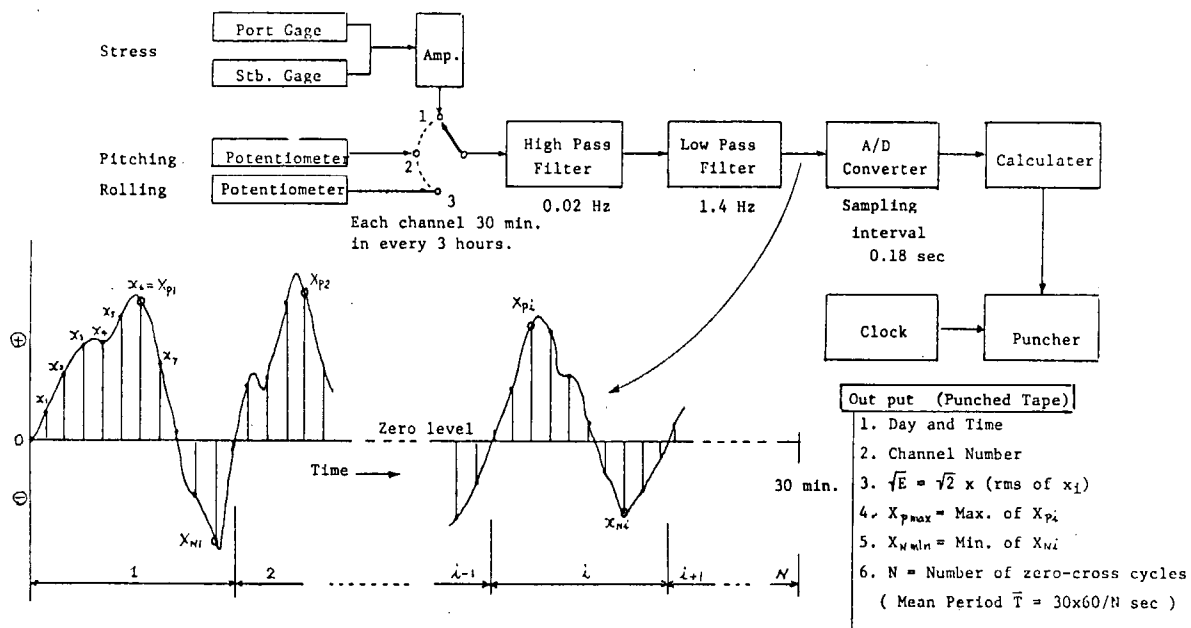


Fig. 2.3 Block Diagram of Automatic R.M.S. Meter
自動 R. M. S. 計のブロック図

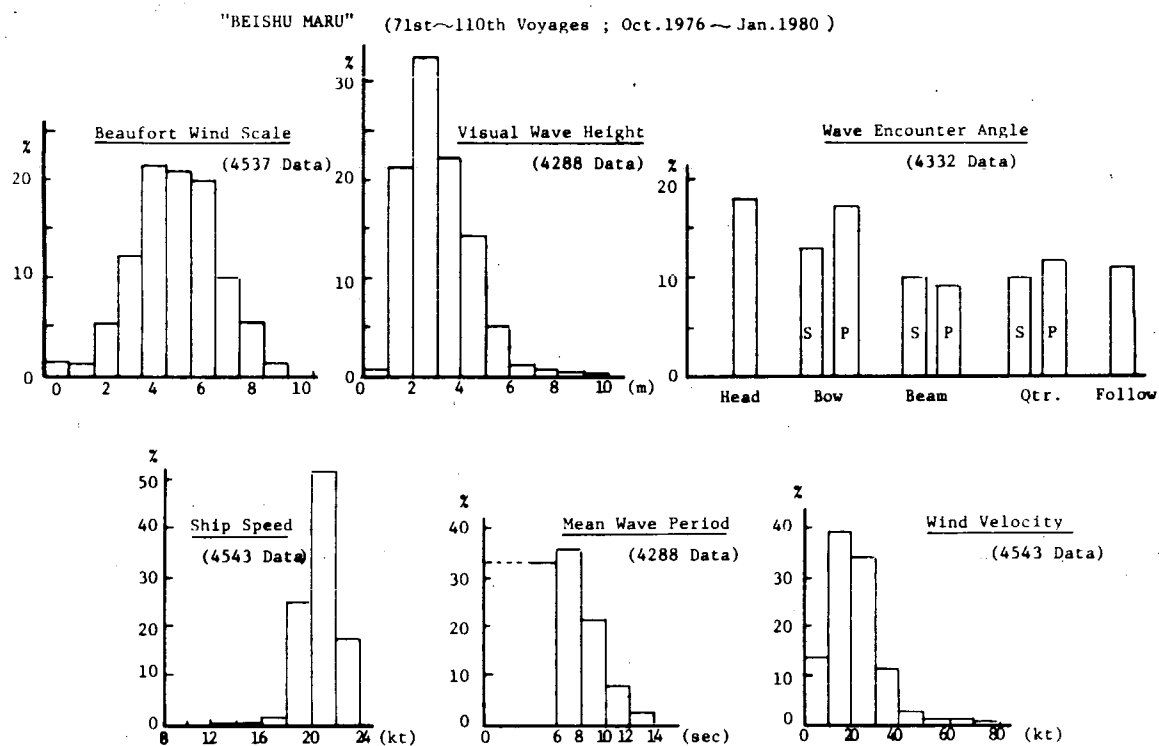


Fig. 2.4 Frequency Distribution of Environmental Conditions
外界条件の頻度分布

Tab. 2.2 Wind Velocity vs. Visual Wave Height
風速と目視波高

	642	1625	1458	461	91	8	3	0	Total Data 4288
13			0	1	0	0			1
12			1	1	1	1			4
11			1	3	2	0			6
10		0	1	1	1	0			3
9		2	4	3	1	1			11
8		1	1	10	8	0	0		20
7	0	2	12	8	9	0	2	0	33
6	1	3	16	24	10	2	0	0	56
5	1	24	88	74	29	3	1		220
4	21	100	314	155	24	1	0		615
3	62	306	463	132	3	0			966
2	215	663	483	47	3				1411
1	321	519	74	1	0				915
0	21	5	0	1					27
	2.1 m	3.4 m	3.5 m	4.5 m	6.0 m	7.0 m	6.8 m		Mean Value
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Wind Velocity (kt)								

Tab. 2.3 Beaufort Wind Scale vs. Visual Wave Height
風力と目視波高

	63	58	233	512	915	885	871	433	242	59	9	5	Total Data 4285
13							0	1		0	0		1
12						0	1	1	0	1	1		4
11						1	0	1	3	1	0		6
10					0	0	1	0	2	0	0	0	3
9					2	1	2	2	2	1	0	1	11
8					0	1	1	3	10	5	0	0	20
7				0	0	5	4	7	8	6	1	2	33
6				1	3	0	10	16	16	8	1	1	56
5		0	0	3	14	14	57	61	48	18	4	1	220
4	0	1	11	15	43	114	196	136	79	16	2	0	615
3	6	10	12	64	170	230	277	139	55	2	0		965
2	13	15	85	188	357	385	286	61	18	1			1409
1	41	28	116	235	323	133	34	5	0	0			915
0	3	4	9	6	3	1	0	0	1				27
	1.9 m	2.1 m	2.1 m	2.2 m	2.5 m	3.0 m	3.5 m	4.2 m	4.9 m	6.0 m	6.4 m	7.3 m	Mean Value
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Beaufort Wind Scale												

Tab. 2.4 Frequency Distribution of RMS of Pitching Angle

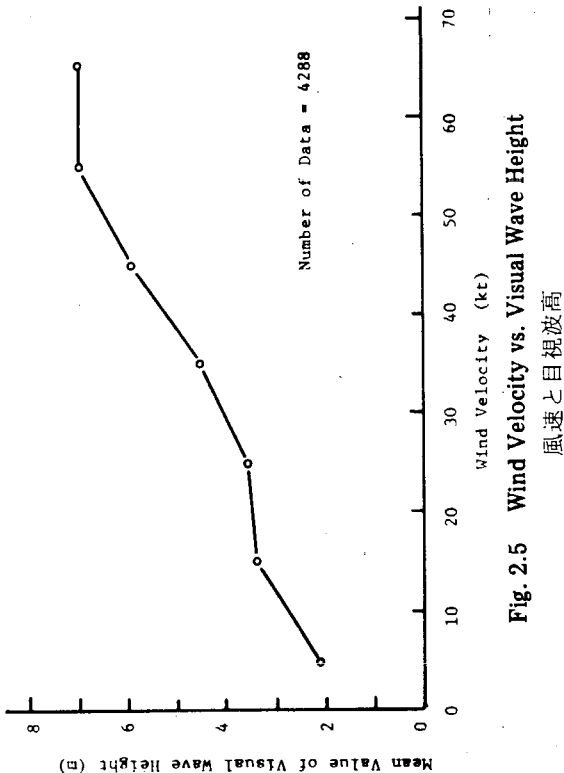
[illegible]

Fig. 2.5 Wind Velocity vs. Visual Wave Height

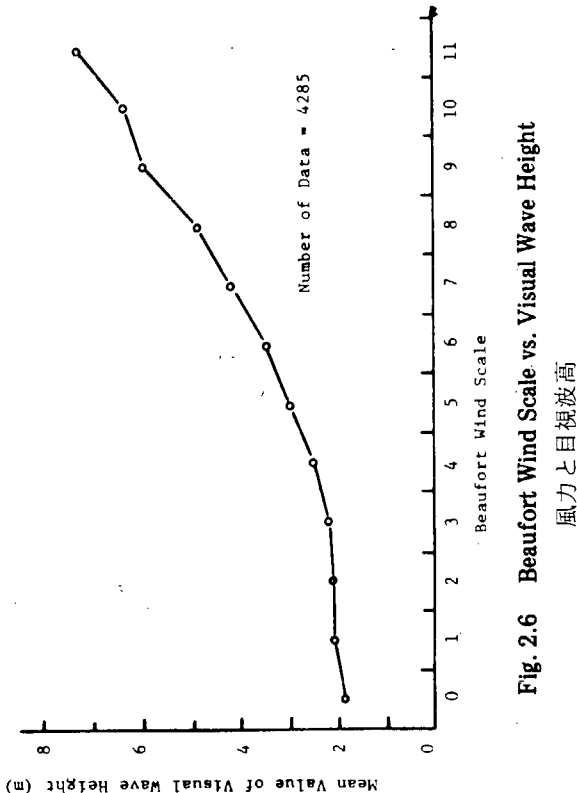


Fig. 2.6 Beaufort Wind Scale vs. Visual Wave Height

横揺角のRMS値の頻度分布

4	5	6	Visual Wave Height (m)
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100

甲板応力のRMS値の頻度分布

	7	5	6	7	8	9	10 Over
Original Wave Height (m)	7	5	6	7	8	9	10 Over

Tab. 2.7 Distribution of Max. Value of Pitching Angle (Bow Up)
縦揺角の最大値の頻度分布 (船首上り)

	25	912	1383	945	608	220	56	30	19	11	14	4223
Over												
7.2												81
6.4												46
5.6												54
4.8												95
4.0												150
3.2												246
2.4												438
1.6												907
0.8												1337
0												869
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over
Max. Peak Value of Pitching Angle (Plus Side: Bow Up) (deg)												
Over												
7.2												
6.4												
5.6												
4.8												
4.0												
3.2												
2.4												
1.6												
0.8												
0												
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over
Max. Peak Value of Pitching Angle (Minus Side: Bow Down) (deg)												
Over												
7.2												
6.4												
5.6												
4.8												
4.0												
3.2												
2.4												
1.6												
0.8												
0												
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over
Max. Peak Value of Pitching Angle (Head S. Bow S. Beam S. Qtr. S. Follow. Total)												
Over												
7.2												
6.4												
5.6												
4.8												
4.0												
3.2												
2.4												
1.6												
0.8												
0												
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over

Tab. 2.8 Distribution of Max. Value of Pitching Angle (Bow Down)
縦揺角の最大値の頻度分布 (船首下り)

	25	912	1383	945	608	220	56	30	19	11	14	4223
Over												
7.2												0
6.4												8
5.6												28
4.8												80
4.0												127
3.2												255
2.4												373
1.6												758
0.8												1109
0												1485
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over
Max. Peak Value of Pitching Angle (Head S. Bow S. Beam S. Qtr. S. Follow. Total)												
Over												
7.2												
6.4												
5.6												
4.8												
4.0												
3.2												
2.4												
1.6												
0.8												
0												
Visual Wave Height (m)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Over

Tab. 2.9 Distribution of Max. Value of Rolling Angle (Port Down)

横揺角の最大値の頻度分布 (左舷下り)

	25	912	1383	945	608	220	56	30	19	11	14	4223
Over	0	0	3	0	6	7	1	0	0	2	2	8
	0	0	1	19	15	22	9	5	3	2	2	8
	0	1	5	30	29	27	5	3	2	0	0	0
	0	1	5	28	65	29	11	4	3	0	0	0
	0	0	2	11	26	17	2	4	6	1	0	0
	1	1	15	88	141	102	28	16	14	5	10	421
10.8	0	0	1	3	2	0	1	0	0	1	1	
	2	0	6	15	5	2	0	0	0	0	0	
	0	3	12	8	0	1	0	0	0	0	0	
	0	5	13	14	3	1	0	0	0	0	0	
	1	1	5	12	0	0	0	0	0	0	0	
	3	10	39	51	8	5	0	0	0	1	1	117
9.6	2	2	7	4	5	0	1	0	0	1	3	
	0	6	9	8	9	5	4	0	0	1	1	
	0	8	10	9	1	0	0	0	0	0	0	
	0	5	14	20	2	0	0	0	0	0	0	
	1	2	7	9	1	0	0	0	0	0	0	
	3	24	47	47	20	5	3	0	0	2	4	157
8.4	1	3	8	12	1	0	0	0	0	1	1	
	2	11	21	14	5	1	1	1	1	1	1	
	0	12	18	3	0	0	0	0	0	0	0	
	2	13	23	12	1	0	0	0	0	0	0	
	0	7	13	14	2	0	0	0	0	0	0	
	5	46	83	55	9	1	1	1	1	1	1	201
7.2	2	8	15	11	4	0	0	0	0	0	0	
	6	18	22	22	1	0	0	0	0	1	1	
	3	15	13	3	0	0	0	0	0	0	0	
	3	29	25	10	0	0	0	0	0	0	0	
	0	12	13	10	3	0	0	0	0	0	0	
	14	82	88	56	8	0	0	0	0	0	0	249
6.0	4	6	17	7	1	1	0	0	0	2	2	
	9	24	19	10	6	1	1	1	1	1	1	
	13	53	40	7	7	0	0	0	0	0	0	
	31	63	23	5	3	0	0	0	0	0	0	
	7	60	15	2	0	2	1	0	0	0	0	
	1	17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	
	67	217	113	24	14	3	2	2	2	2	2	251
4.8	1	37	68	48	24	3	0	1	0	0	0	
	2	81	128	54	31	9	0	0	0	0	0	
	2	46	66	13	6	5	0	0	0	0	0	
	1	63	61	14	7	4	6	1	0	0	0	
	1	23	28	4	2	2	4	1	0	0	0	
	7	250	348	133	75	23	10	3	2	2	2	442
3.6	1	96	96	46	14	2	0	0	0	0	0	
	6	140	139	54	24	3	1	0	0	0	0	
	4	76	34	23	33	12	1	0	0	0	0	
	3	62	31	38	21	6	0	1	0	0	0	
	1	16	27	25	6	1	0	0	0	0	0	
	15	390	372	186	98	26	7	1	0	0	0	1043
1.2	0	16	40	19	3	0	0	0	0	0	0	
	2	44	40	17	10	1	0	0	0	0	0	
	0	36	44	23	18	2	0	0	0	0	0	
	0	41	45	11	5	1	0	1	0	0	0	
	0	22	28	18	3	1	0	0	0	0	0	
	2	159	197	88	39	5	0	0	0	0	0	491

Tab. 2.10 Distribution of Max. Value of Rolling Angle (Port Up)

横揺角の最大値の頻度分布 (左舷上り)

	25	912	1383	945	608	220	56	30	19	11	14	4223
Over	0	0	4	0	3	6	1	0	0	2	1	
	0	0	2	15	15	19	8	5	2	2	6	
	1	1	0	27	23	25	4	3	2	0	0	
	0	0	3	27	62	27	11	4	3	0	0	
	0	0	2	11	24	16	2	4	5	1	0	
10.8	1	0	13	80	127	93	26	16	12	5	7	380
	Head Sea	0	0	0	2	3	0	0	0	1	2	
	Bow Sea	1	4	13	5	3	0	0	1	0	1	
	Beam Sea	3	9	1	1	0	0	0	0	0	0	
	Qtr. Sea	3	9	15	1	0	0	0	0	0	0	
	Follow	0	2	8	2	0	0	0	1	0	0	
	Total	9	18	47	12	4	0	0	2	1	3	96
9.6	2	2	4	6	3	0	0	0	0	1	1	
	2	4	9	13	6	2	3	1	0	0	2	
	0	10	19	8	1	1	0	0	0	0	0	
	1	7	14	18	3	0	0	0	0	0	0	
	2	10	11	2	0	0	0	0	0	0	0	
	6	25	56	15	3	1	1	1	1	1	3	169
8.4	1	4	8	6	0	1	0	0	0	0	0	
	2	12	10	10	9	3	2	0	1	0	1	
	0	7	11	5	0	0	0	0	0	0	0	
	1	10	20	15	4	1	0	0	0	0	0	
	0	6	5	13	2	0	0	0	0	0	0	
	4	39	54	49	15	5	3	0	0	0	1	170
7.2	3	5	14	9	2	0	0	0	0	0	0	
	3	16	21	21	3	0	0	0	0	0	0	
	1	21	18	7	1	0	0	0	0	0	0	
	1	23	25	7	0	0	1	0	0	0	0	
	1	12	21	8	2	0	0	0	0	0	0	
	8	77	99	52	8	0	1	0	1	1	246	
6.0	2	6	18	13	3	2	0	0	0	0	0	
	5	15	36	12	4	2	0	0	0	0	0	
	8	33	15	3	2	0	0	0	0	0	0	
	5	39	18	4	0	2	0	0	0	0	0	
	9	14	6	2	0	0	0	0	0	0	0	
	22	102	101	38	11	6	0	0	0	0	1	281
4.8	10	32	26	15	5	0	0	0	0	1	1	
	12	48	41	13	11	0	0	0	0	0	0	
	24	59	17	6	4	0	0	0	0	0	0	
	7	51	17	3	1	1	0	0	0	0	0	
	5	22	4	0	0	0	0	0	1	0	0	
	59	202	116	37	21	1	1	1	1	1	439	
3.6	22	53	34	1	2	0	0	2	0	0	0	
	58	110	56	32	6	0	0	0	0	0	0	
	46	68	16	8	0	0	0	0	0	0	0	
	52	67	13	6	3	5	2	0	0	0	0	
	19	20	6	8	3	3	3	0	0	0	0	
	197	318	125	73	16	8	0	0	0	0	1	744
2.4	2	102	106	32	16	3	0	0	0	0	0	
	6	143	145	56	16	2	1	0	0	0	0	
	6	82	32	22	29	13	1	0	0	0	0	
	3	71	34	38	22	7	0	1	0	0	0	
	2	22	26	23	5	0	1	0	0	0	0	
	19	420	343	191	88	25	3	1	0	0	1	1091
1.2	0	26	49	26	4	0	0	0	0	0	0	
	4	65	66	23	12	2	0	0	0	0	0	
	0	40	54	26	18	1	0	0	0	0	0	
	1	44	50	14	4	1	0	1	0	0	0	
	0	21	36	16	3	0	0	0	0	0	0	
	5	196	255	105	41	4	0	1	0	0	0	607

Tab. 2.11 Distribution of Max. Value of Deck Stress (Tention)
甲板応力の最大値の頻度分布 (引張)

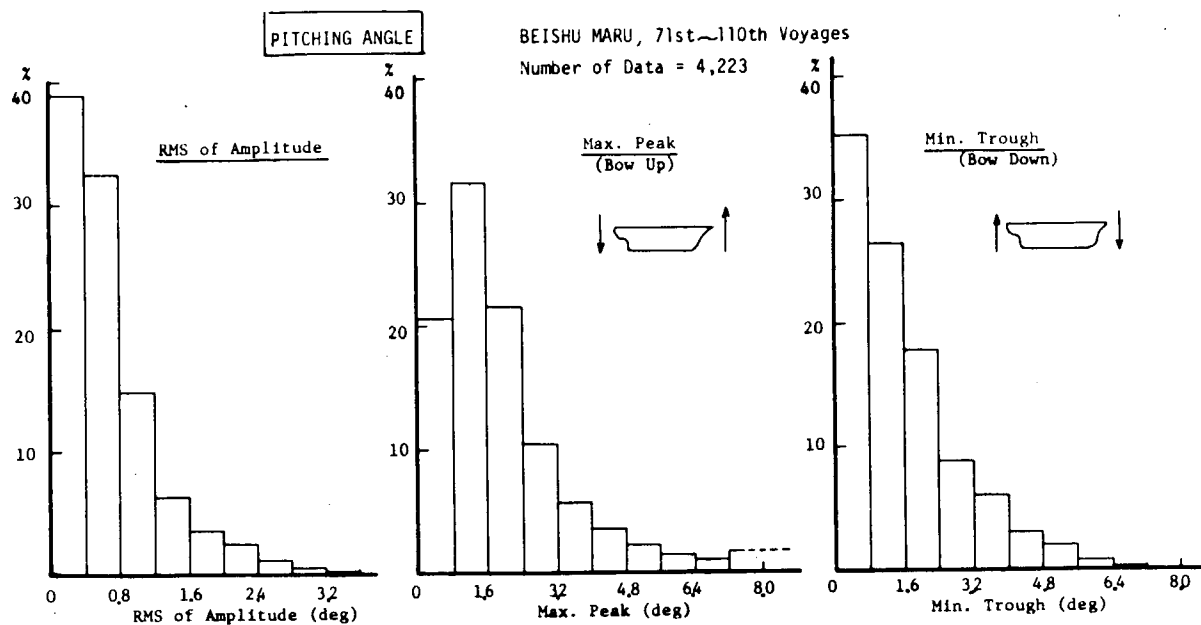


Fig. 2.7 Histograms of Pitching Angle
縦揺角のヒストグラム

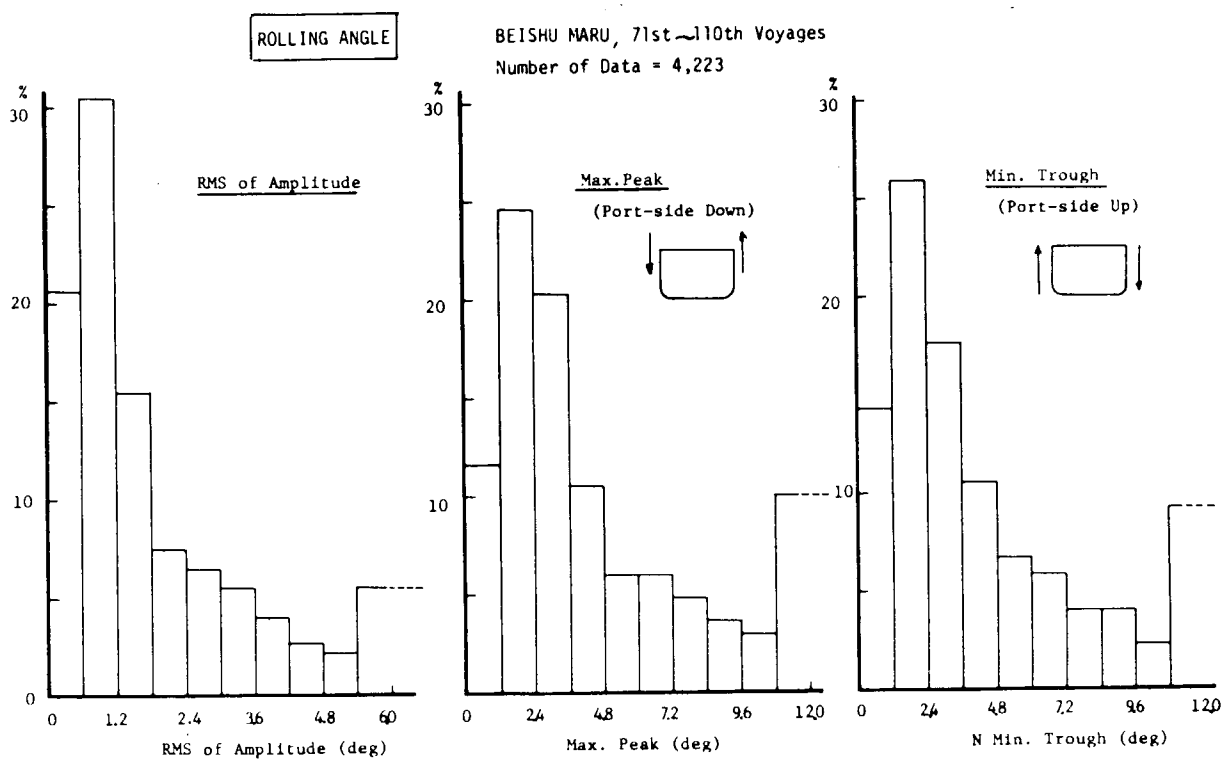


Fig. 2.8 Histograms of Rolling Angle
横揺角のヒストグラム

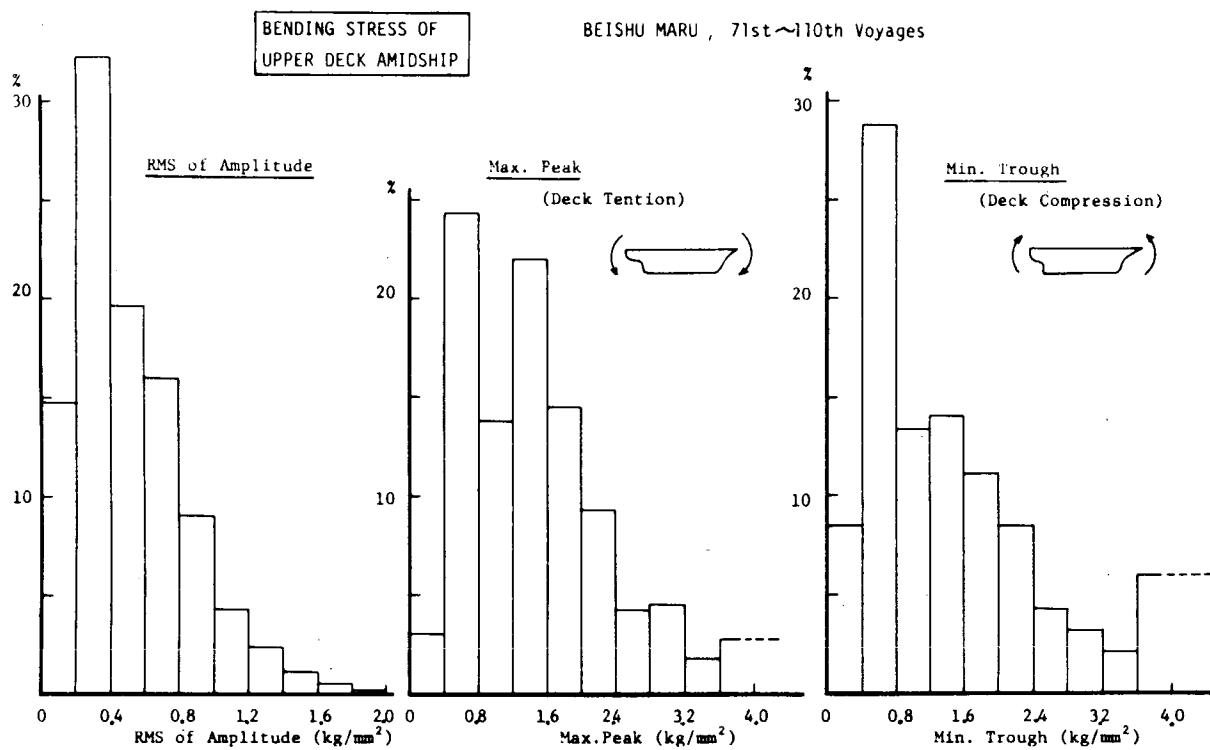


Fig. 2.9 Histograms of Wave Bending Stress
波浪曲げ応力のヒストグラム

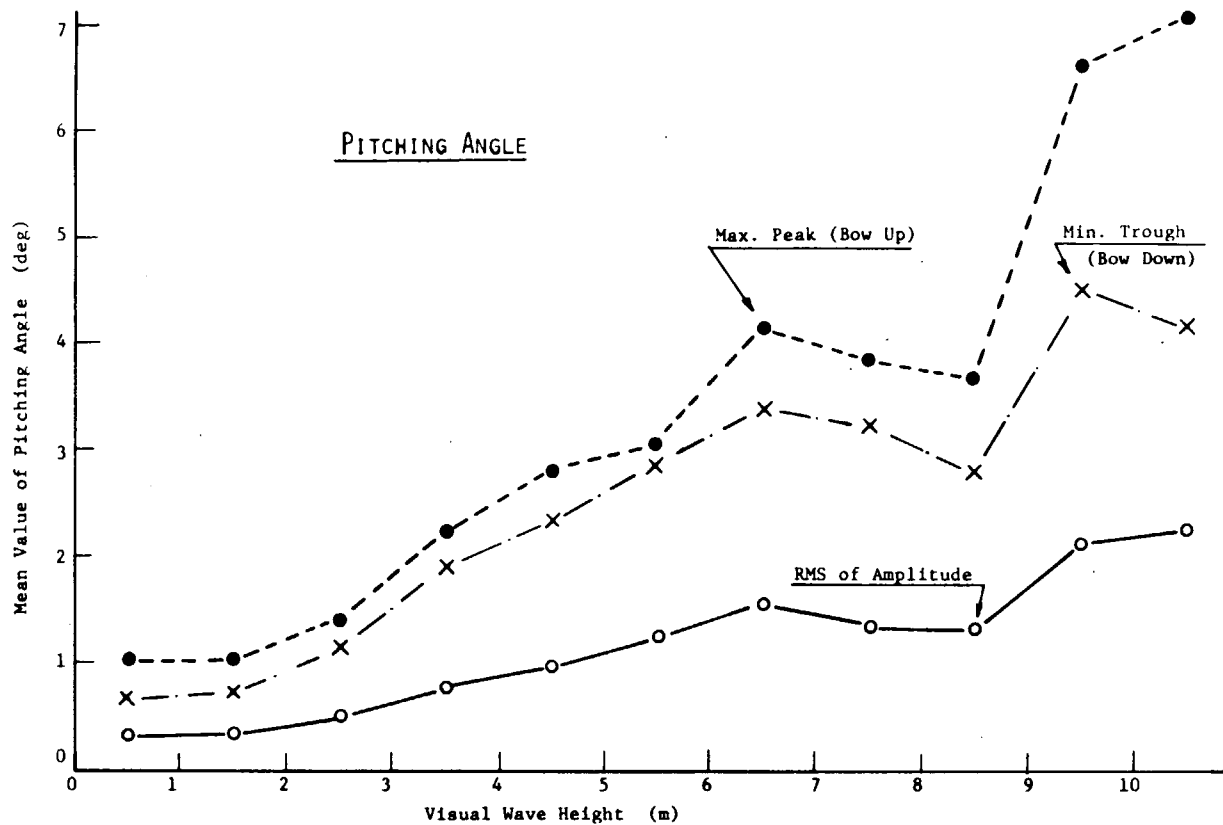


Fig. 2.10 Visual Wave Height vs. Mean Value of Pitching Angle
目視波高と縦揺角の平均値との関係

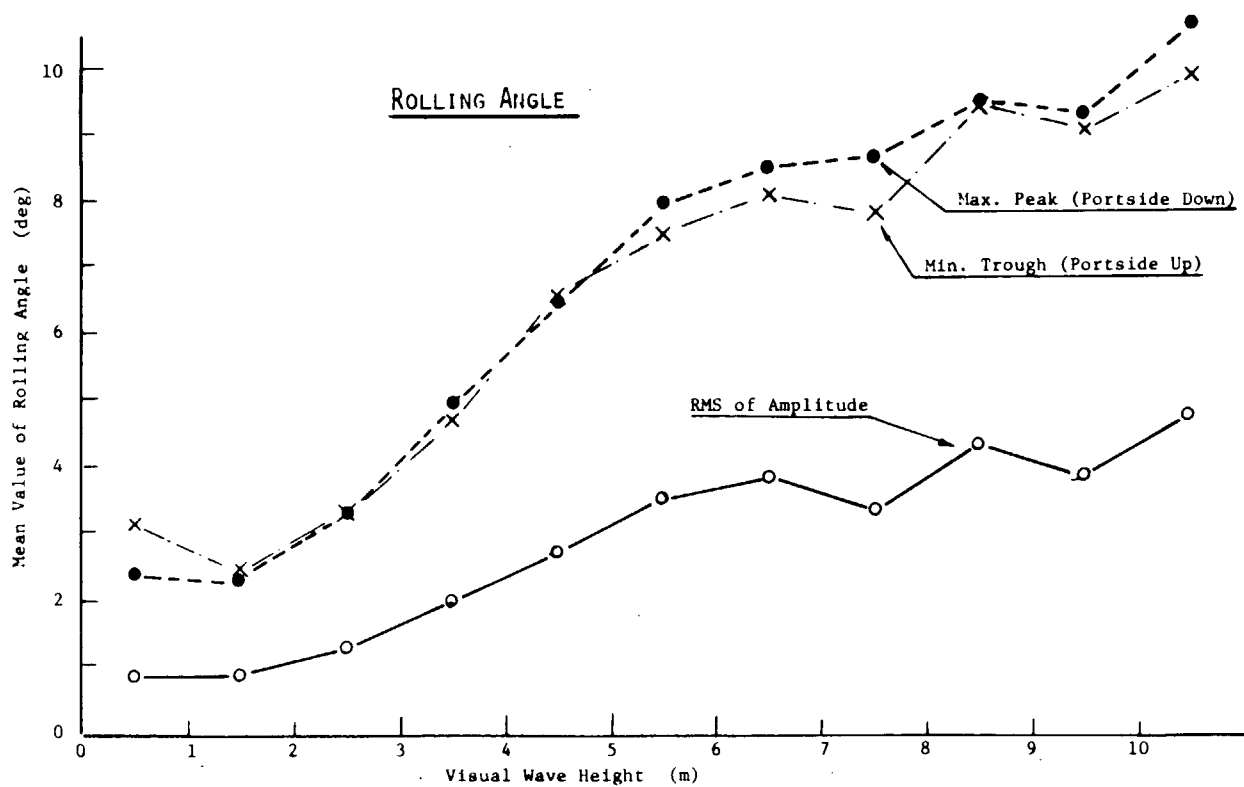


Fig. 2.11 Visual Wave Height vs. Mean Value of Rolling Angle
目視波高と横揺角の平均値との関係

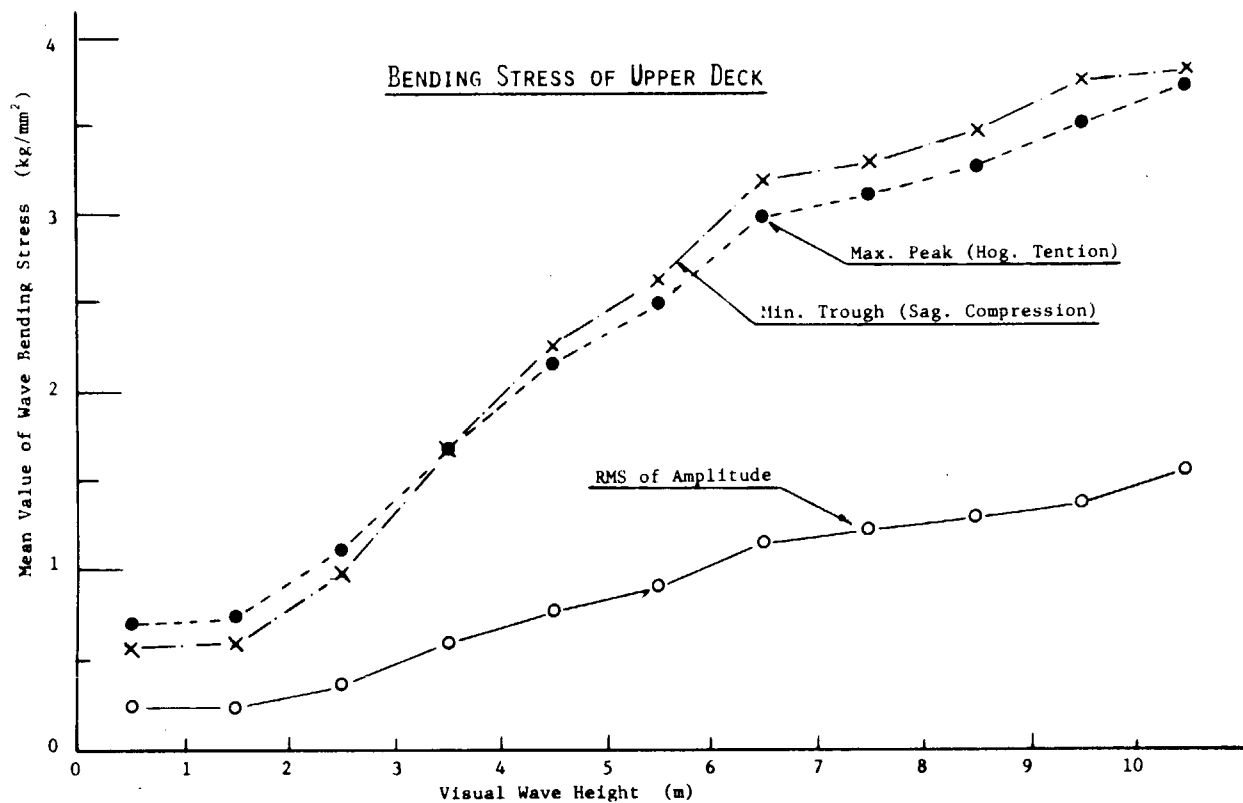


Fig. 2.12 Visual Wave Height vs. Mean Value of Wave Bending Stress
目視波高と波浪曲げ応力の平均値との関係

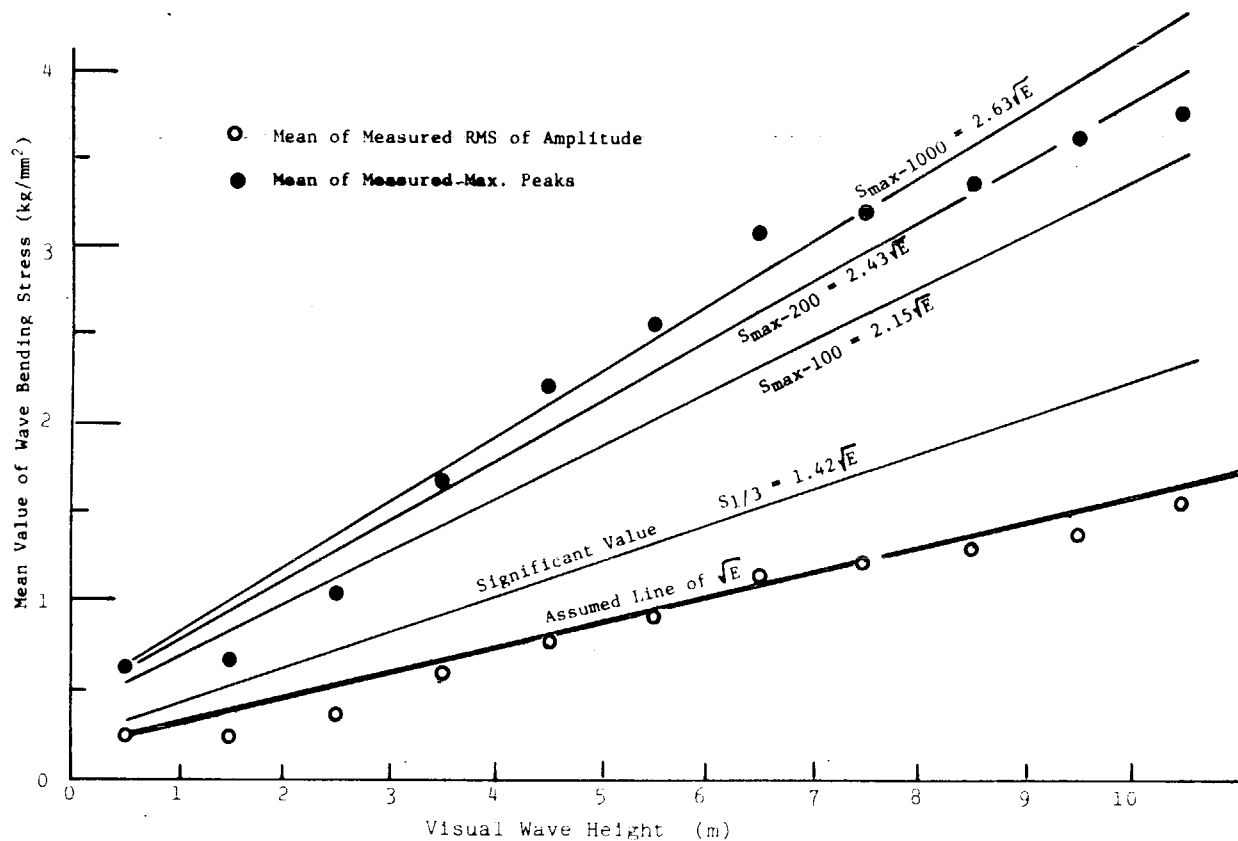


Fig. 2.13 Estimated Mean of Max. and Significant Value of Wave Bending Stress
波浪曲げ応力の最大値および有義値の推定平均値

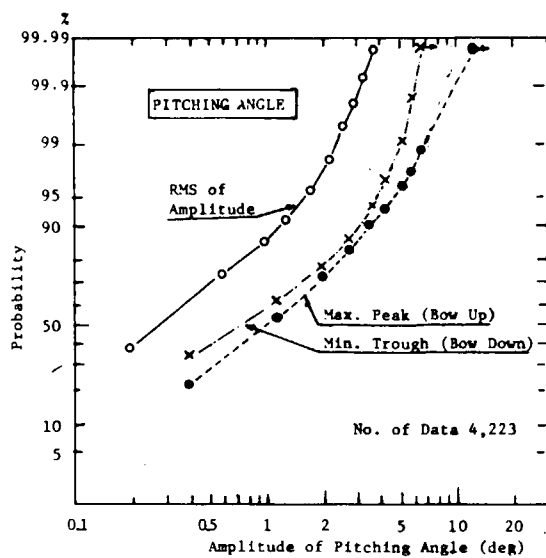


Fig. 2.14 Probability of Pitching Angle
縦揺角の確率

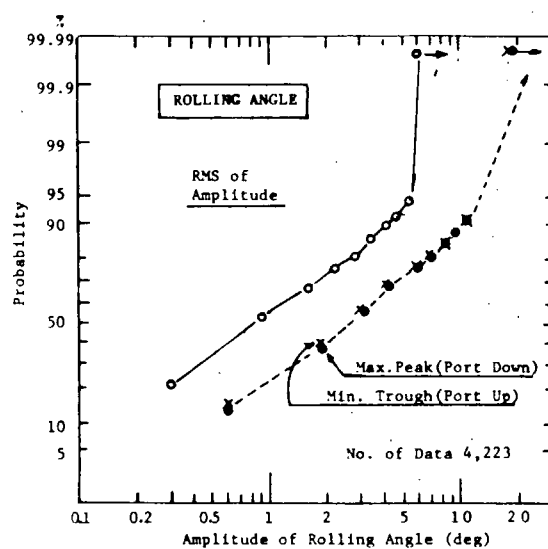


Fig. 2.15 Probability of Rolling Angle
横揺角の確率

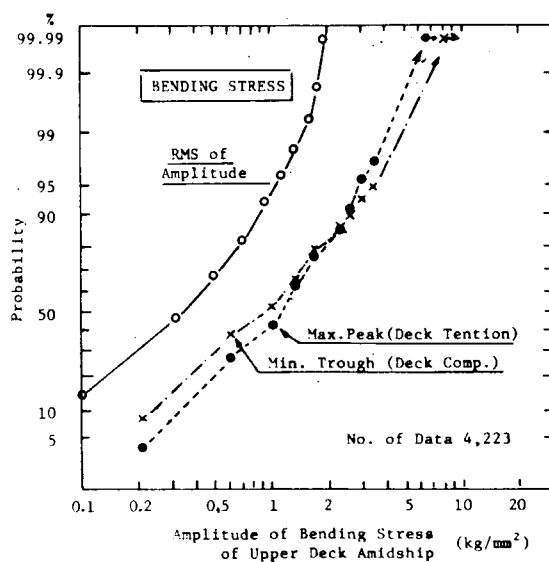


Fig. 2.16 Probability of Wave Bending Stress
波浪曲げ応力の確率

Tab. 2.13 Results of Wave Measurements
波浪計測結果

No.	Time	Position	Statistical Analysis					Spectral Analysis										Visual Observation			
			N	H̄	H _{rms}	H _{1/3}	H _{max}	σ	T̄ ₀	N'	ω _p	σ _s	ε _s	H'	H' _{1/3}	T ₀	T _p	T _B	H _v	T _v	θ
79-1	Feb. 6, '79 01:00	N48°54,W149°42	116	2.57	2.86	4.04	5.55	1.10	7.60	1875	0.66	1.04	0.76	2.61	4.17	7.53	4.89	8.18	3.0	8	135°P
79-2	Feb. 19, '79 01:00	N55°06,W178°12	108	2.60	2.90	4.01	6.88	1.12	8.28	1875	0.56	1.06	0.78	2.66	4.24	7.83	4.90	8.64	3.0	10	0°
79-3	Feb. 22, '79 03:00	N45°42,E151°48	113	2.04	2.36	3.41	5.70	0.92	7.86	1875	0.49	0.88	0.82	2.21	3.53	7.80	4.46	8.95	5.0	8	85°S
79-4	March 7, '79 02:00	N47°06,E173°06	125	2.15	2.40	3.42	5.06	0.92	7.14	1875	0.80	0.86	0.75	2.16	3.46	6.81	4.54	7.45	2.5	6	88°P
79-5	March 18, '79 21:00	N53°24,W139°00	70	3.91	4.37	6.05	10.12	1.62	8.54	1250	0.63	1.55	0.74	3.88	6.20	8.20	5.50	8.83	4.0	8	30°P
79-6	March 23, '79 02:00	N50°36,E165°54	105	2.15	2.48	3.56	5.01	0.96	8.48	1875	0.38	0.94	0.82	2.35	3.75	8.75	4.98	9.80	4.0	8	47°P
79-7	Nov. 18, '79 20:30	N51°48,W138°00	104	2.27	2.48	3.38	5.19	0.92	8.62	1875	0.66	0.87	0.80	2.18	3.48	7.61	4.57	8.51	4.0	8	30°P
79-8	Dec. 2, '79 06:00	N41°42,E159°12	97	2.67	2.98	4.16	5.75	1.11	8.13	1875	0.45	1.08	0.80	2.71	4.33	8.50	5.14	9.39	2.5	5	55°S
79-9	Dec. 15, '79 22:00	N50°28,W137°26	62	4.64	5.30	7.61	12.02	2.00	9.61	1250	0.52	1.89	0.75	4.73	7.55	9.70	6.42	10.35	6.0	11	140°S
79-10	Dec. 21, '79 05:00	N47°00,E163°00	113	1.89	2.15	3.04	4.31	0.81	7.93	1875	0.38	0.77	0.80	1.92	3.07	7.55	4.56	8.47	2.5	5	8°S

Statistical Analysis:

N : Number of Waves (Zero Cross)

H̄ : Mean Wave Height (m)

H_{rms}: √E_H (m)

H_{1/3} : Significant Wave Height (m)

H_{max}: Maximum Wave Height (m)

σ : Standard Deviation (m)

T̄₀ : Zero Cross Wave Period (sec)

N' : Number of Samples

ω_p : Peak Frequency (rad)

σ_s : Standard Deviation (m)

ε_s : Band Parameter

H' : Mean Wave Height (m)

H'_{1/3} : Significant Wave Height ()

T₀ : Zero Cross Period (sec)

T_p : Peak-to-peak Period (sec)

T_B : Narrow Band Spectrum Period(sec)

Spectral Analysis:

H_v : Visual Wave Height (m)

T_v : Mean Wave Period (sec)

θ : Wave Encounter Angle

Statistical Analysis:

N : Number of Waves (Zero Cross)
 $\bar{H}$: Mean Wave Height (m)
 H_{rms} : $\sqrt{E_H}$ (m)
 $H_{1/3}$: Significant Wave Height (m)
 H_{max} : Maximum Wave Height (m)
 σ : Standard Deviation (m)
 $\bar{T}_0$: Zero Cross Wave Period (sec)

Spectral Analysis:

N' : Number of Samples
 ω_p : Peak Frequency (rad)
 σ_s : Standard Deviation (m)
 ϵ_s : Band Parameter
 $\bar{H}'$: Mean Wave Height (m)
 $H'_{1/3}$: Significant Wave Height ()
 T_0 : Zero Cross Period (sec)
 T_p : Peak-to-peak Period (sec)
 T_B : Narrow Band Spectrum Period(sec)

Visual Observation:

H_v : Visual Wave Height (m)
 T_v : Mean Wave Period (sec)
 θ : Wave Encounter Angle

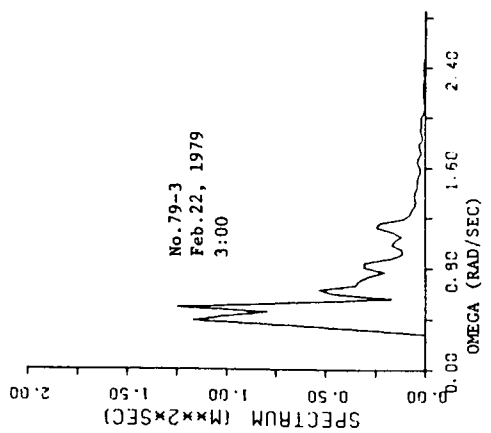
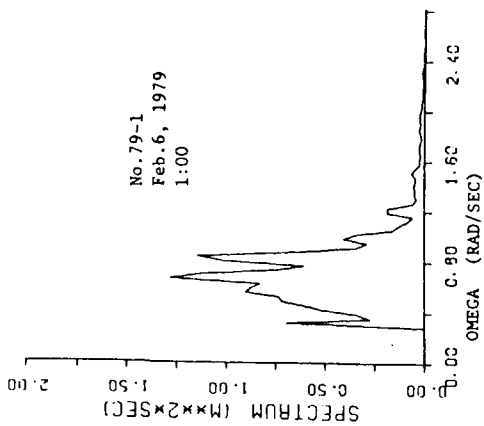
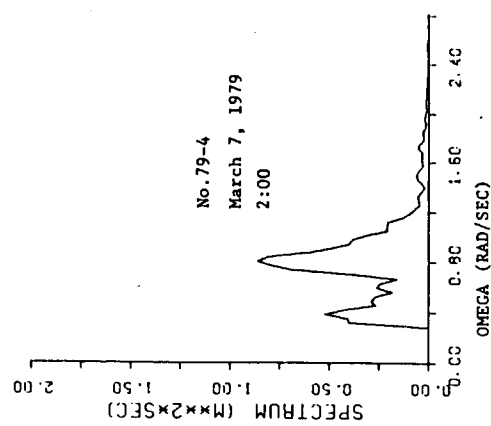
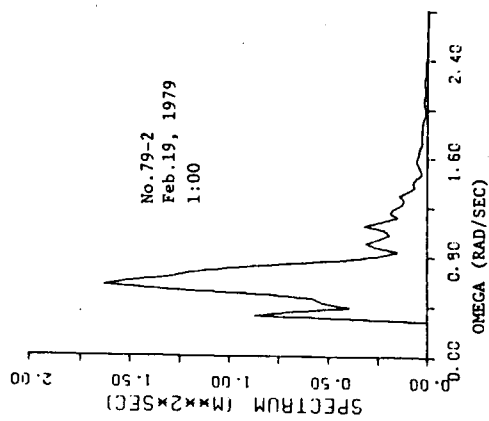
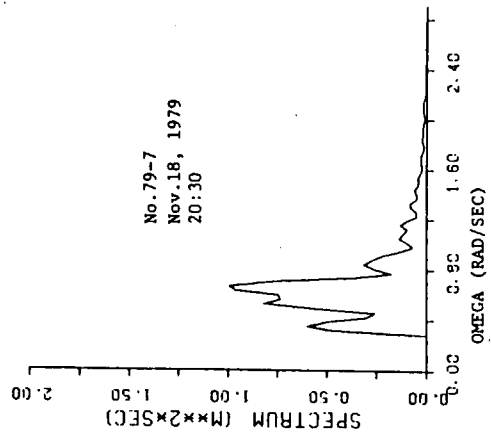
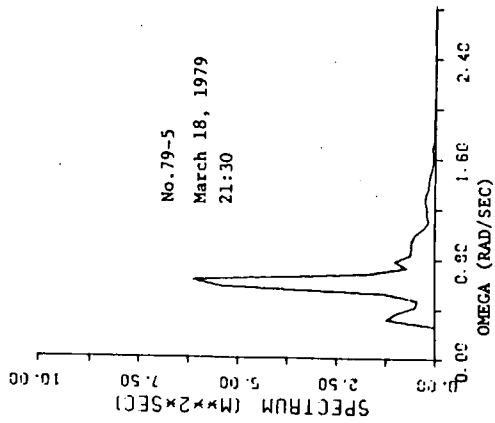
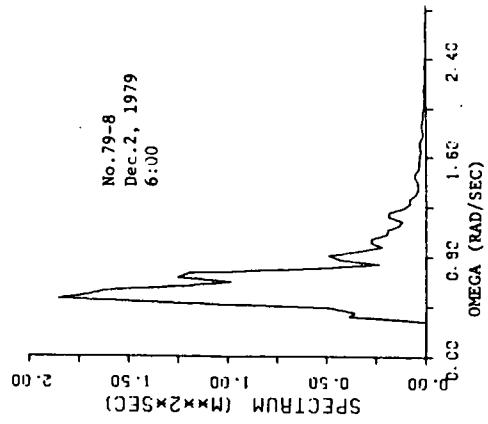
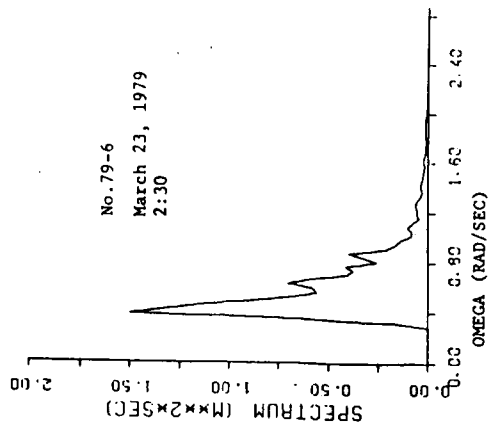


Fig. 2.17 (1) Wave Spectra
波浪スペクトル

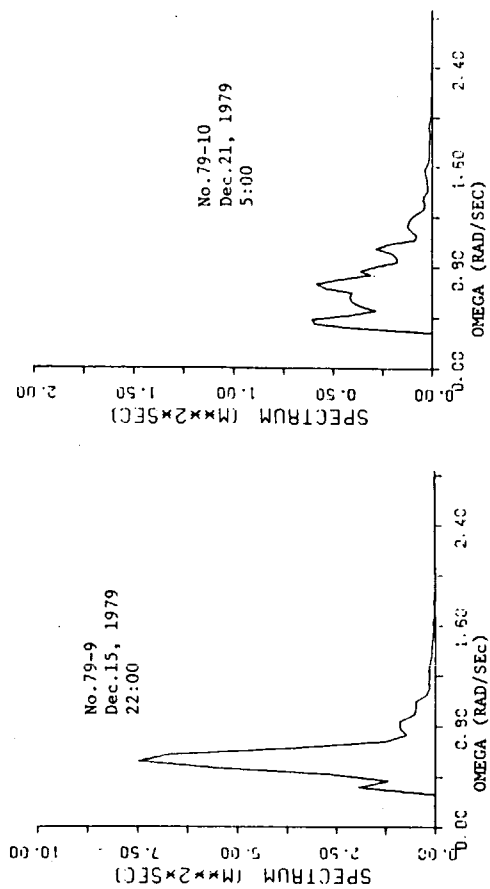


Fig 2.17(2) Wave Spectra
 波浪スペクトル

Tab. 3.1 The First Experiment of Wave Measurement at Sea
第1回波浪計測実験一覧表

Test No.	Month/Day Time	Visual Observation									Ship Course - Speed etc.	Measuring Items & Comment
		Wind		Sea			Swell			Sea Swell → ~		
		Direction	Speed	Direction	Period	Height	Direction	Period	Height			
11	4/13 10:40~10:55	60	2.3	60	2	0.5	16	7	0.5			
12	11:40~11:55	60	2.3	60	2	0.5	16	7	0.5			
13	13:12~13:37	90	3.9	90	2	0.5	120/80	7/6	0.8/0.5	30	195-STOP	Comparative Test of Various Wave Meter
14	15:37~	110	5.0	110	2	0.5	90	7	1.5		62-15.0	
21	4/14 8:30~8:44	340	2.6	340	1	0	40/190	9/6	1.5/1.0			
22	9:04~9:16	30	2.5	340	1	0.2	40/190	9/6	1.5/1.0	5	240-STOP	
23	9:55~10:15	340	2.2	340	1	0.2	40/190	9/6	1.5/1.0	4	75-STOP	Comparative Test of Various Wave Meter
24	11:00~11:14	350	2.1	340	1	0.2	40/140	9/6	1.0/1.0	2	40-STOP	
25	11:36~11:47	320	2.6	320	1	0.1	40/140	9/5	1.0/1.0	2	210-STOP	
26	13:47~	360	8.2	360	2	0.5	150/90	6/9	1.0/0.5		180-15.0	
27	14:00~	360	8.2	360	2	0.5	150/90	6/9	1.0/0.5		180-15.0	
28	14:11~14:23	360	8.2	360	2	0.5	150/90	6/9	1.0/0.5		180-15.0	
31	4/15 8:10~	360	4.0	360	1	0.2	60/360	9/1	1.5/1.0	1	120-STOP	Comparative Test of Various Wave Meter

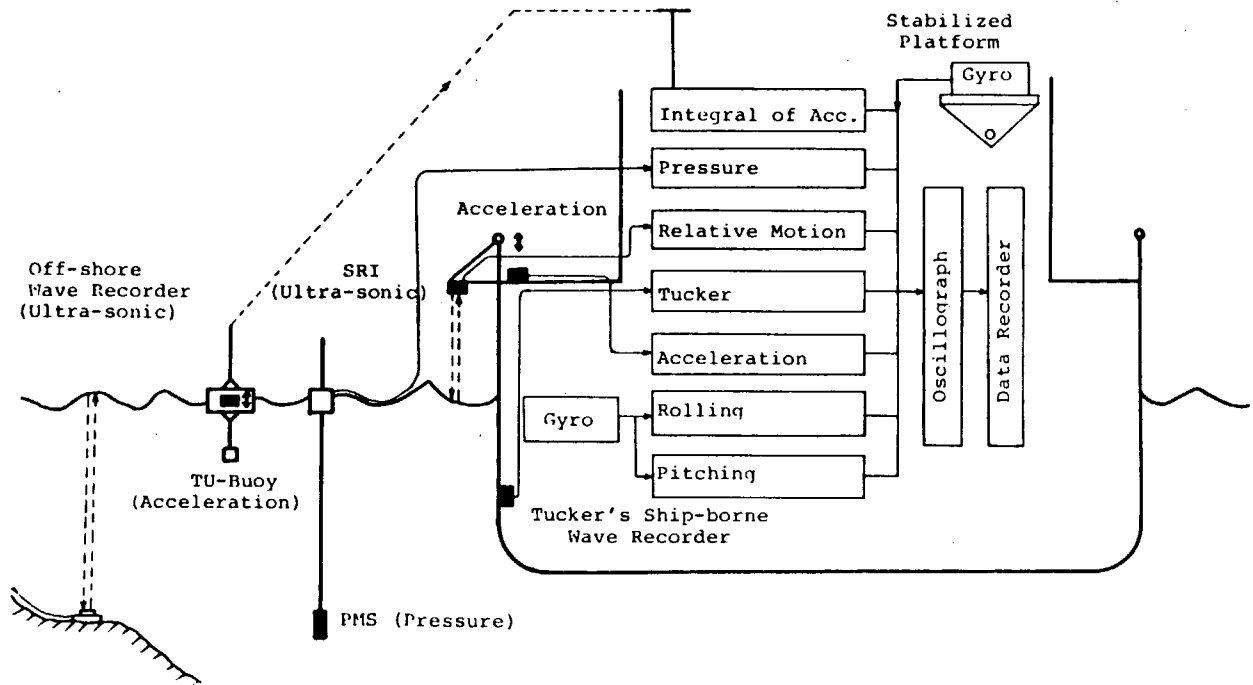


Fig. 3.1 Arrangement of Experiment on Board
波浪計測実験の配置図

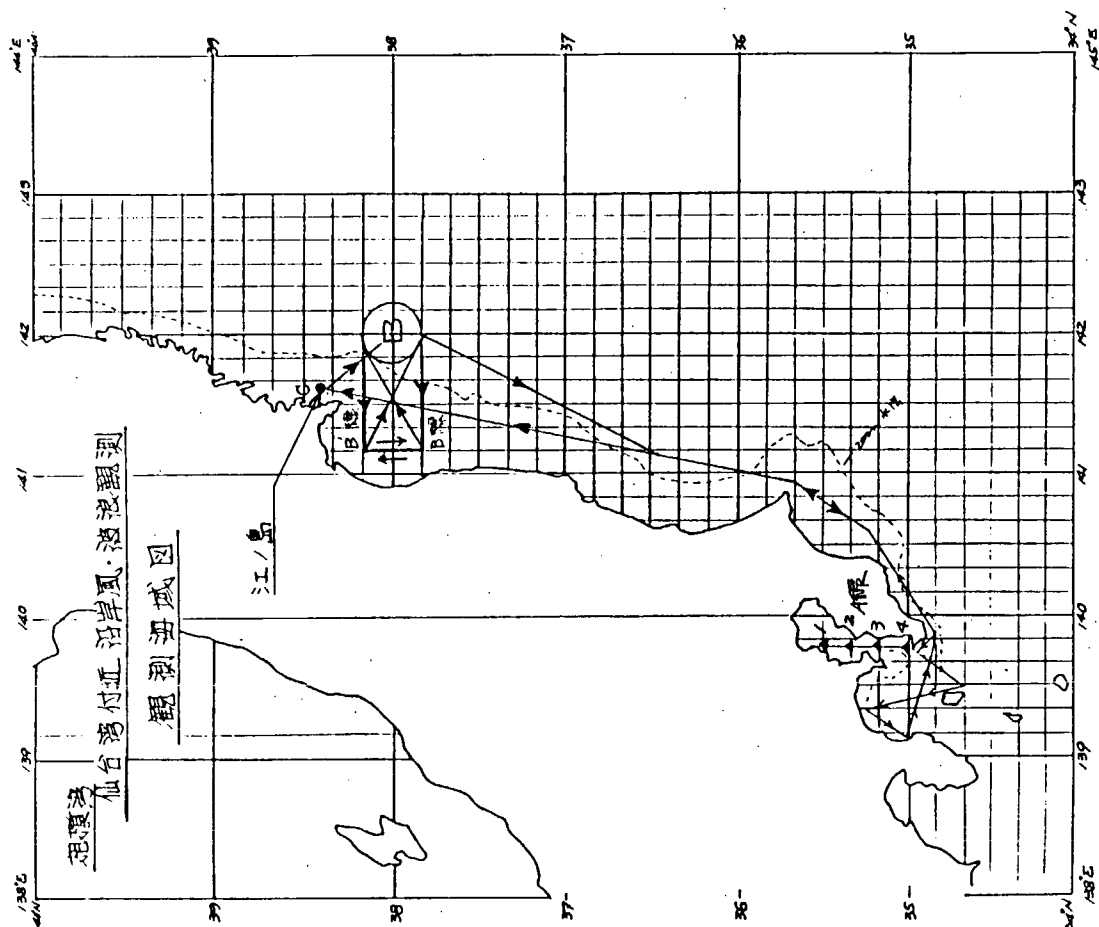
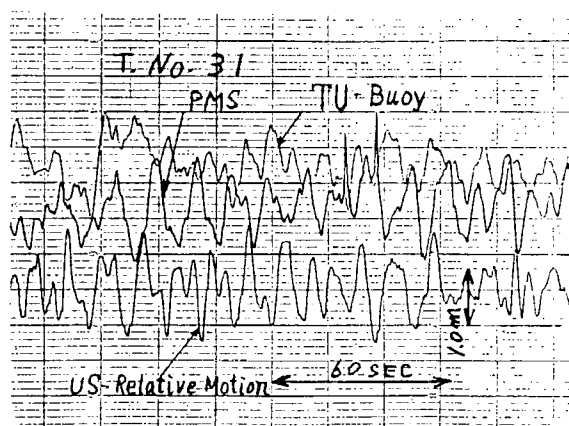
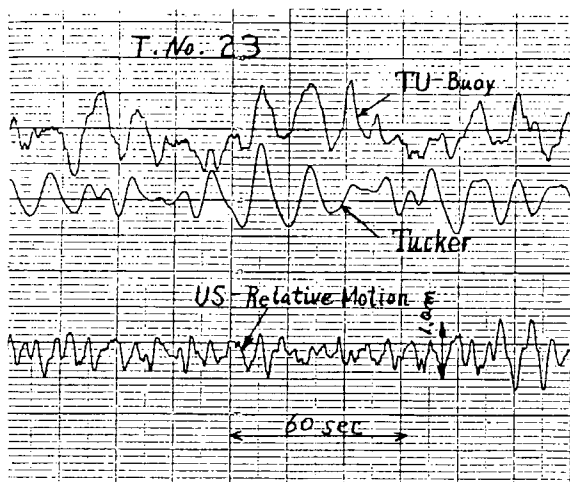


Fig. 3.2 Route of the Ocean Weather Ship "Keifu-maru" during the First Experiment

第1回波浪計測実験の啓風丸航路図



TU-Buoy: Acceleration Buoy (Tokyo Univ.)
 Tucker: Tucker's Ship-borne Wave Recorder
 PMS: Pressure Buoy (Keifu-maru)
 US-Relative Motion: Ultra-sonic Relative Wave Surface Sencer (SR1)

Fig. 3.3 An Example of Wave Records
 波浪記録の1例

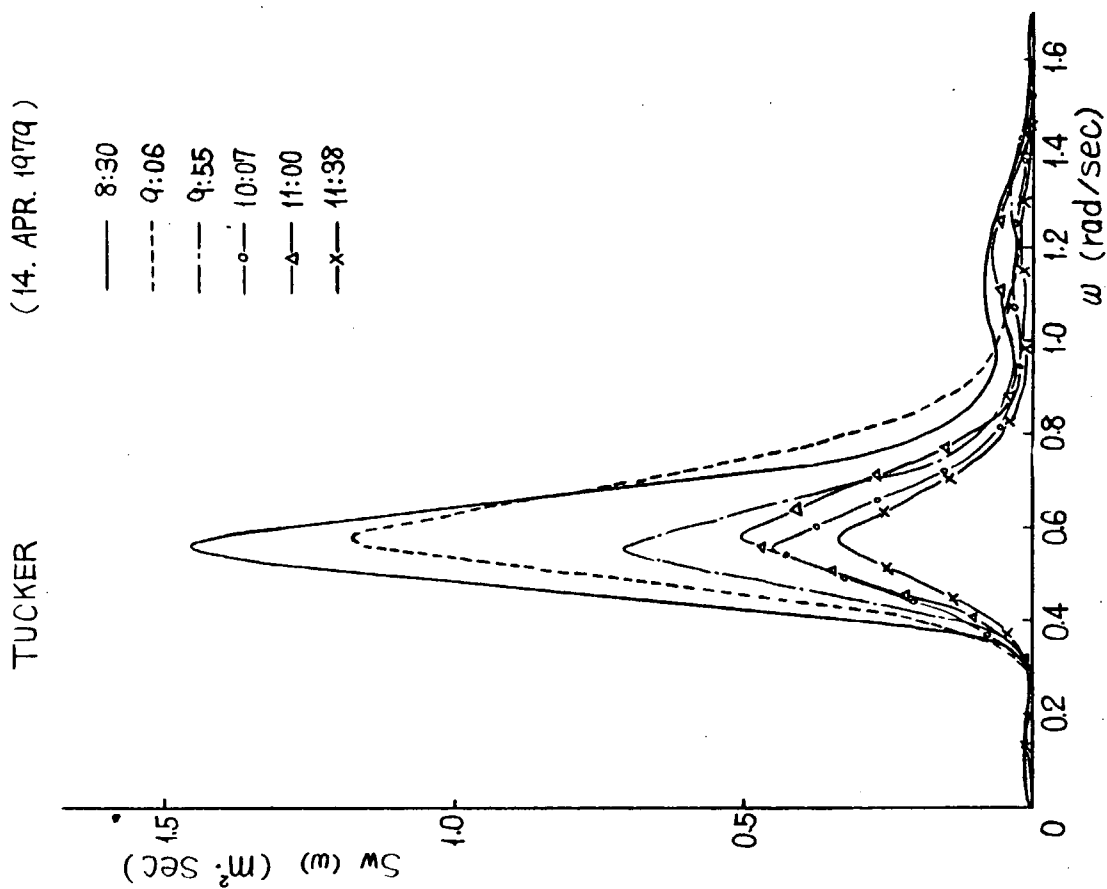


Fig. 3.5 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Tucker Type
タッカー式波浪計による波スペクトラム

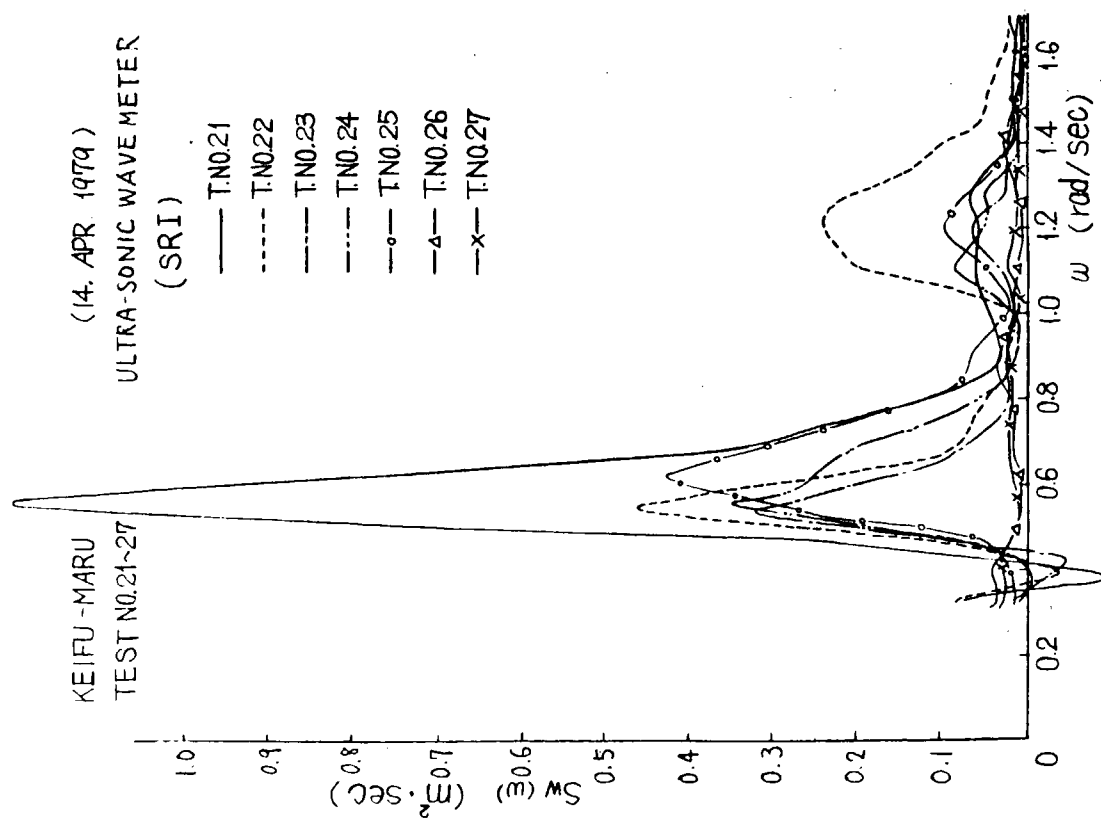


Fig. 3.4 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Ultrasonic Type
船側超音波波浪計による波スペクトラム

ENOSHIMA

(14. APR. 1979)

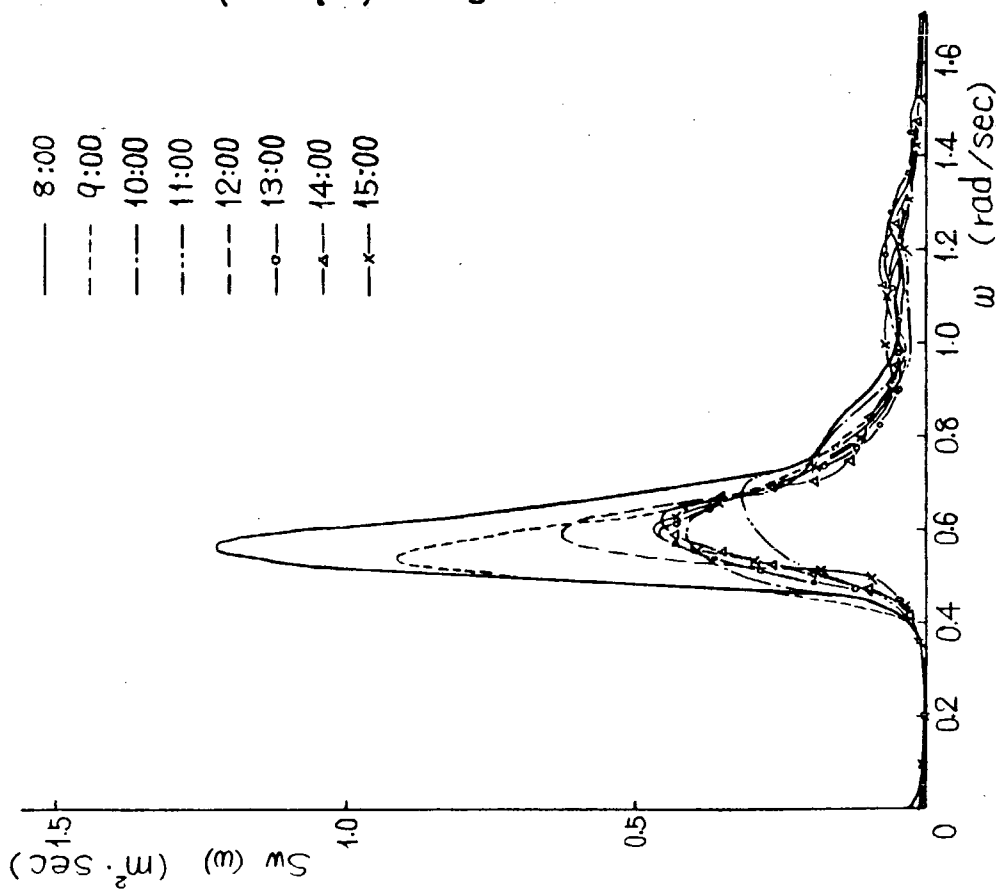


Fig. 3.6 Wave Spectra by Off-shore Wave Recorder
定置式波浪計による波スペクトラム

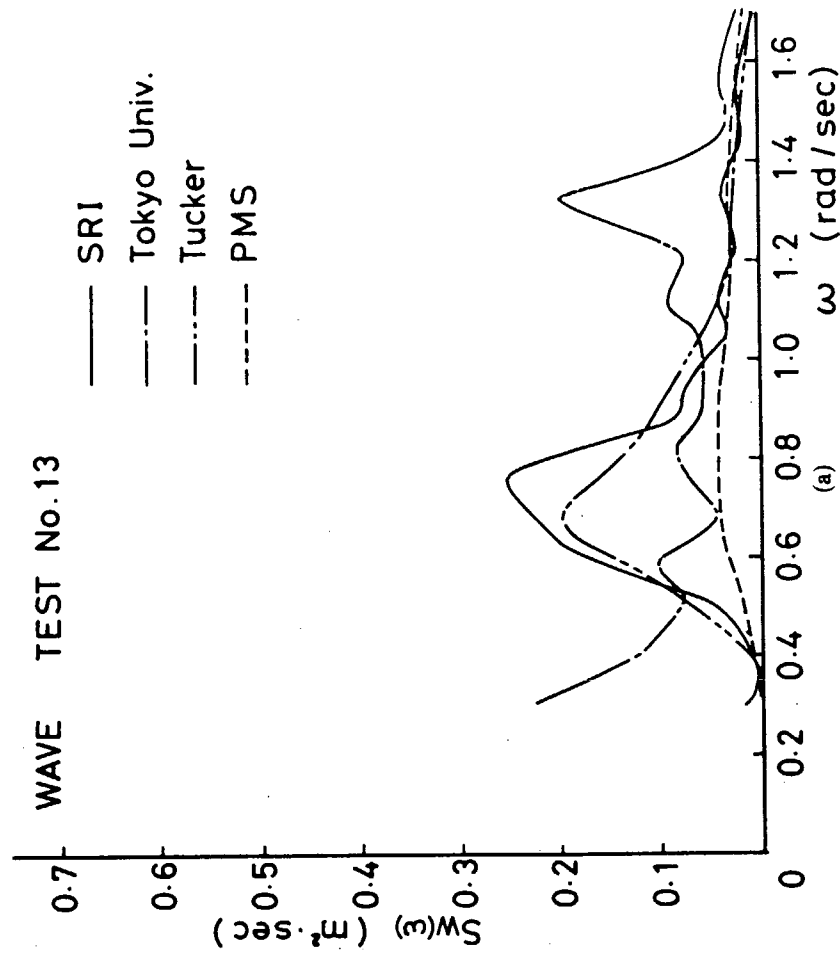


Fig. 3.7 Comparison of Wave Spectra Obtained by Various Wave Recorder
各種波浪計による波スペクトラムの比較

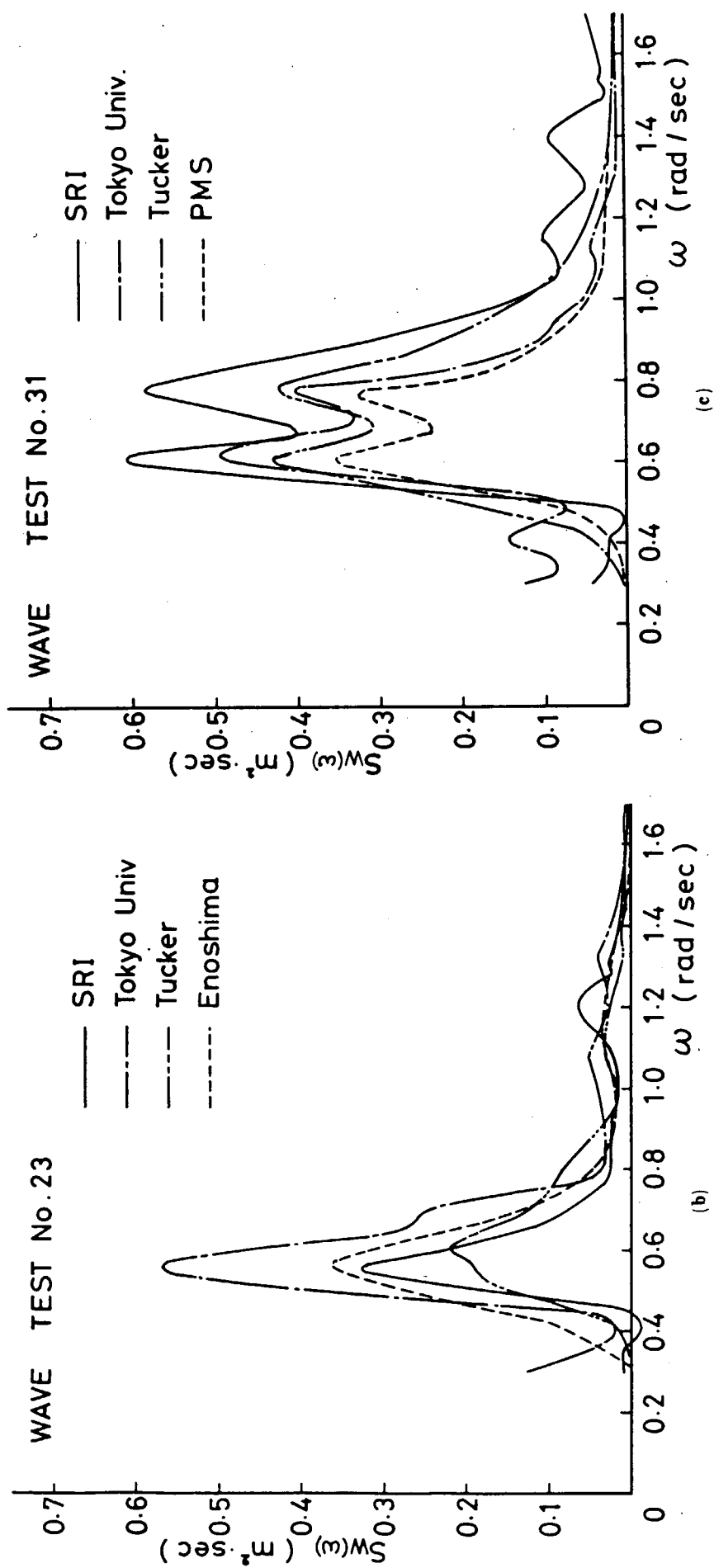


Fig. 3.7 Comparison of Wave Spectra Obtained by Various Wave Recorder
各種波浪計による波スペクトラムの比較

Tab. 3.2 The Second Experiment of Wave Measurement at Sea
第2回波浪計測実験一覧表

Test No.	Month/Day Time	Visual Observation									Ship Course - Speed etc.	Measuring Items & Comment
		Wind		Sea			Swell			Sea Swell → ~ ←		
		Direction	Speed	Direction	Period	Height	Direction	Period	Height			
1	11/22 9:10 ~ 9:25	20	13.7	20	4	1.5	205	9	1.0		205-15	
2	11:00 ~ 11:15	30	15.7	30	5	2.5	110	8	2.0		205-STOP	
3	14:00 ~	40	6.0	49	3	1.0	100	8	2.5		310-STOP	
4	17:00 ~	160	5.0	160	3	1.0	100/40	8/5	2.0/1.0		40-STOP	
5	11/29 8:00 ~	220	11.2	220	3	1.3	100/40	8/5	2.0/1.0		90-STOP	
6	10:38 ~ 11:10	220	6.4	220	2	0.7	100/160	8/6	2.0/1.5		70-STOP	
7	11:10 ~	220	4.1	220	2	0.5	100/160	8/6	2.0/1.5		65-STOP	
8	13:30 ~	250	11.1	250	3	1.2	100/150	8/6	2.0/1.5		145-STOP	
9	14:00 ~	240	10.0	240	3	1.0	100/150	8/8	2.0/1.5		135-STOP	
10	15:15 ~	240	10.0	250	3	1.0	100	8	2.0		300-15	
11	11/24 7:40 ~	20	9.0	20	3	1.5	90	8	2.0		285-STOP	
12	8:10 ~	20	9.0	20	3	1.5	90	8	2.0		280-STOP	
13	10:40 ~ 10:55	201	10.5	20	3	1.5	70	8	2.0		310-STOP	
14	11:10 ~ 11:25	20	12.0	20	4	2.0	70	8	2.0		285-STOP	
15	13:33 ~	30	12.5	30	5	2.0	70	9	2.5		305-STOP	
16	14:00 ~											
17	11/25 5:30 ~ 5:50	10	16.0	10	5	2.0	70	9	2.5		270-STOP	
18	6:43 ~ 6:53	(325)	(18.5)	40	4	1.5	45	7	2.5		38-15	
19	7:07 ~ 7:23	10	15.0	10	5	2.5	80	9	2.0		265-STOP	
20	10:07 ~	5	11.9	10	3	0.7	-	-	-		270-STOP	
21	11/25 11:40 ~ 11:55	5	11.2	10	4	1.5	-	-	-		285-STOP	
22	11/27 7:47 ~ 7:56	10	5.0	360	2	0.3	180	6	0.5		270-STOP	
23	9:50 ~ 10:05	10	6.0	10	10	0.5	170	7	0.5		250-STOP	
24	12:47 ~ 13:07	70	6.5	70	2	0.5	120	9	1.0		325-STOP	
25	13:35 ~ 13:50	50	12	0	4	1.5	100	9	1.5		70-14	
26	17:45 ~ 18:00	35	11.3	340	4	1.5	90	8	2.0		300-STOP	
27	11/28 7:30 ~ 7:45	30	13	30	4	2.0	80	8	2.0			
28	8:30 ~	15	15.2	20	4	2.0	80	8	2.0		280-STOP	
29	10:33 ~ 10:50	20	11.4	20	4	2.0	170/80	10/8	1.5/2.0		275-STOP	
30	11:10 ~ 11:17											
31	13:32 ~ 14:05	20	12.5	20	4	2.0	170/80	10/7	2.0/1.5		280-STOP	
32	11/29 7:30 ~	250	9.6	250	5	2.0	160/70	10/8	1.5/1.5		120-STOP	
33	8:18 ~ 8:27	220	9.6	220	4	1.5	160/70	10/8	1.5/1.5		120-STOP	
34	10:30 ~	230	13.1	230	5	2.0	80/160	9/8	2.0/1.5		130-STOP	
35	10:57 ~ 11:13	240	13.0	240	5	2.0	80/160	9/8	2.0/1.5		140-STOP	

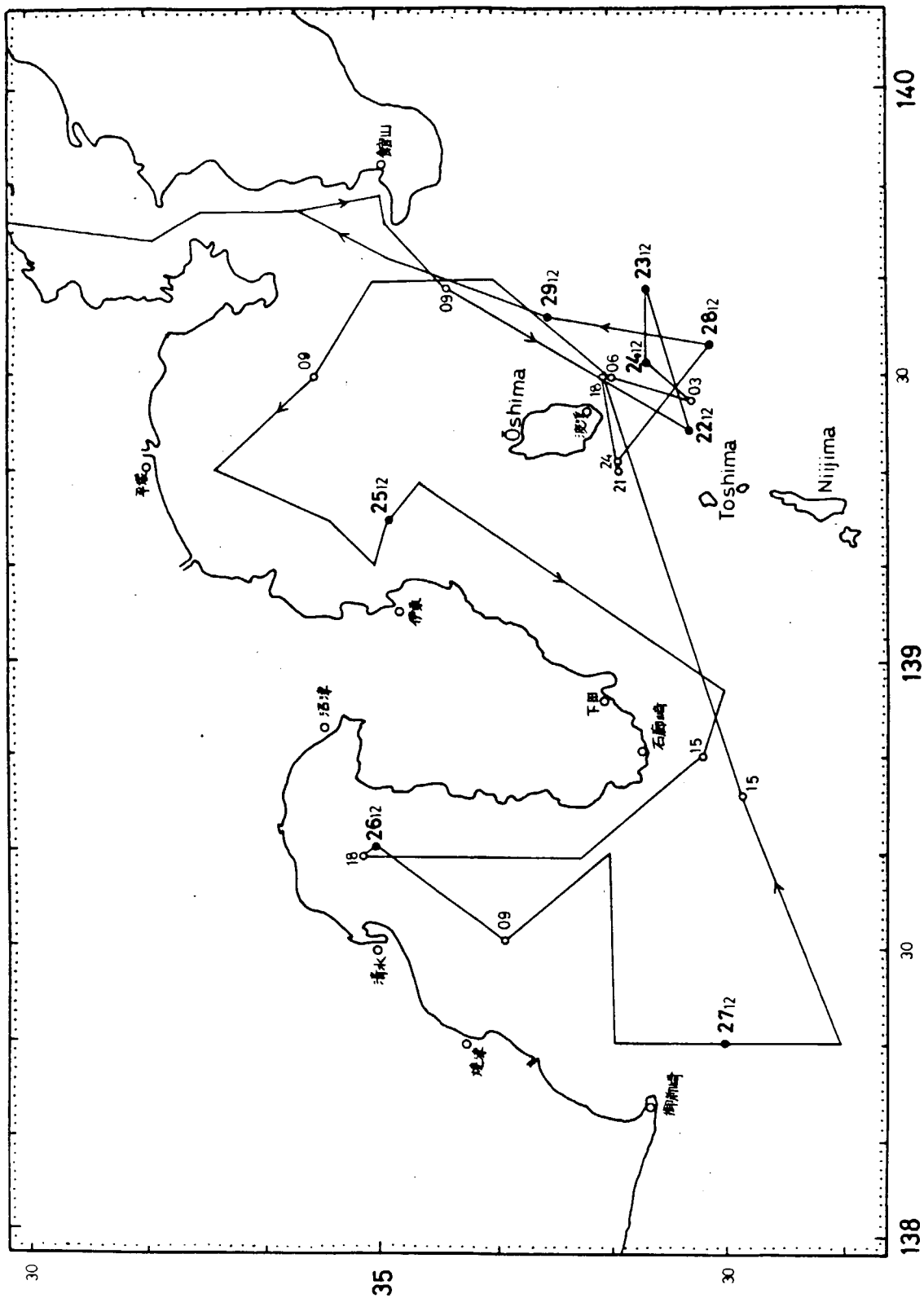


Fig. 3.8 Route of the Ocean Weather Ship "Keifu-maru" during the Second Experiment

第2回波浪計測実験の啓風丸航路図

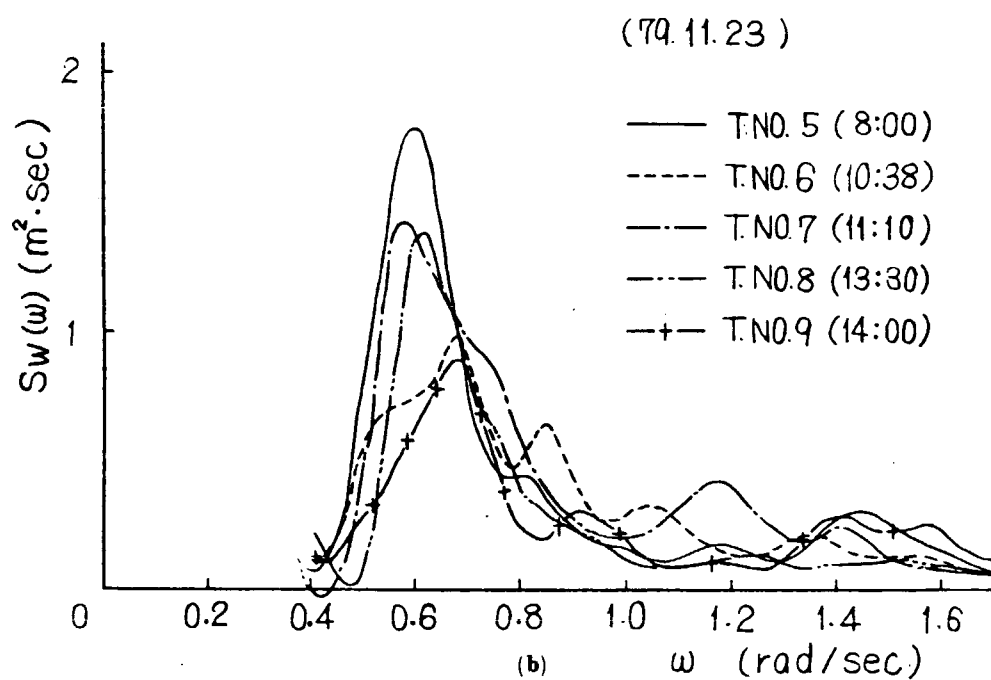
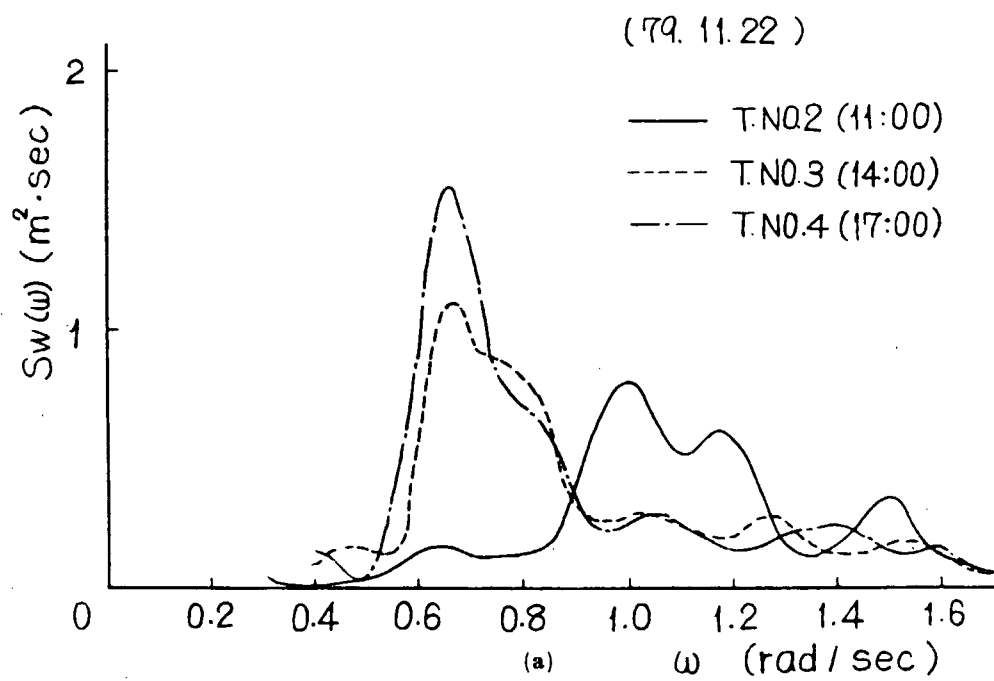


Fig. 3.9 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Ultrasonic Type
船側出会波浪計による波スペクトラム

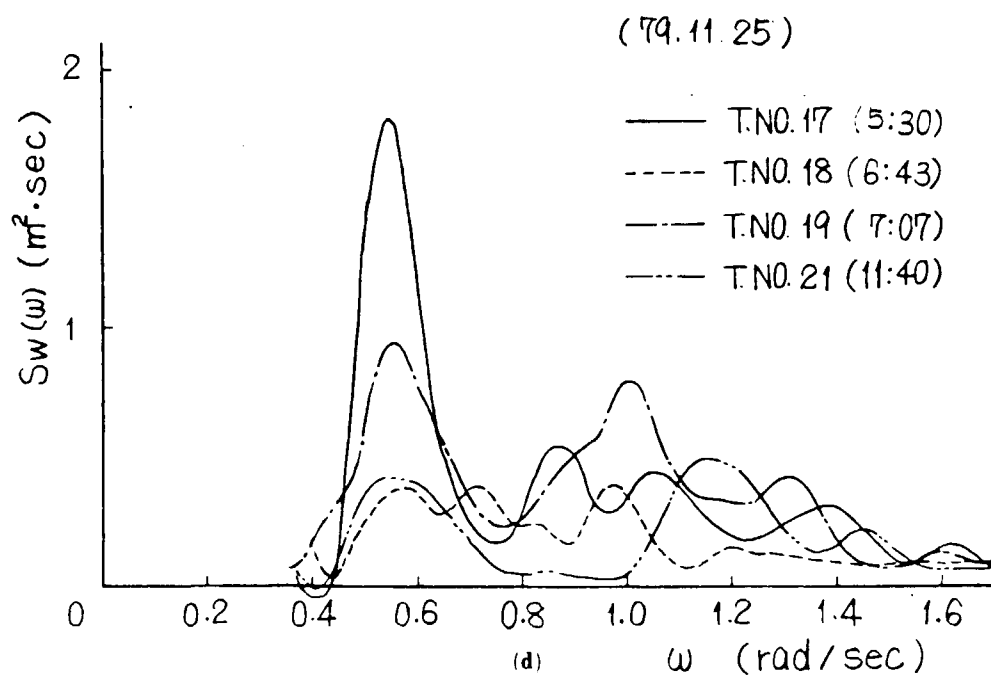
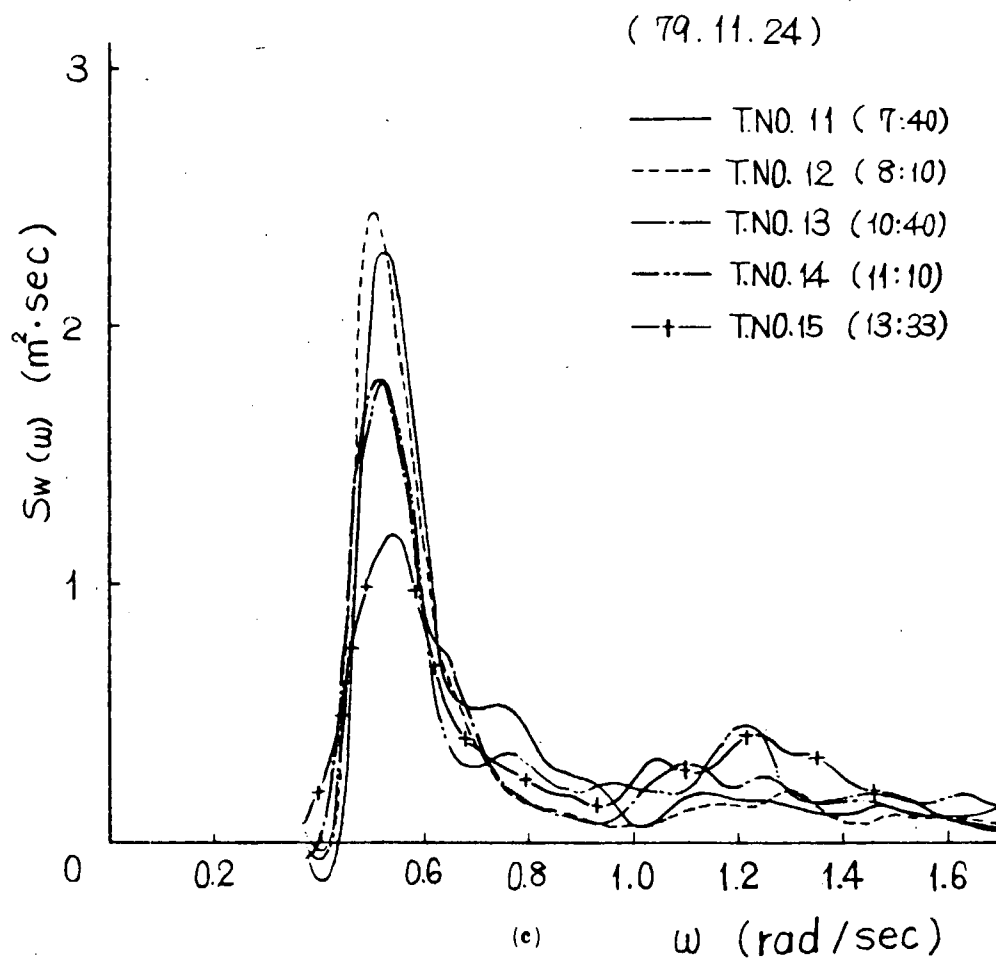


Fig. 3.10

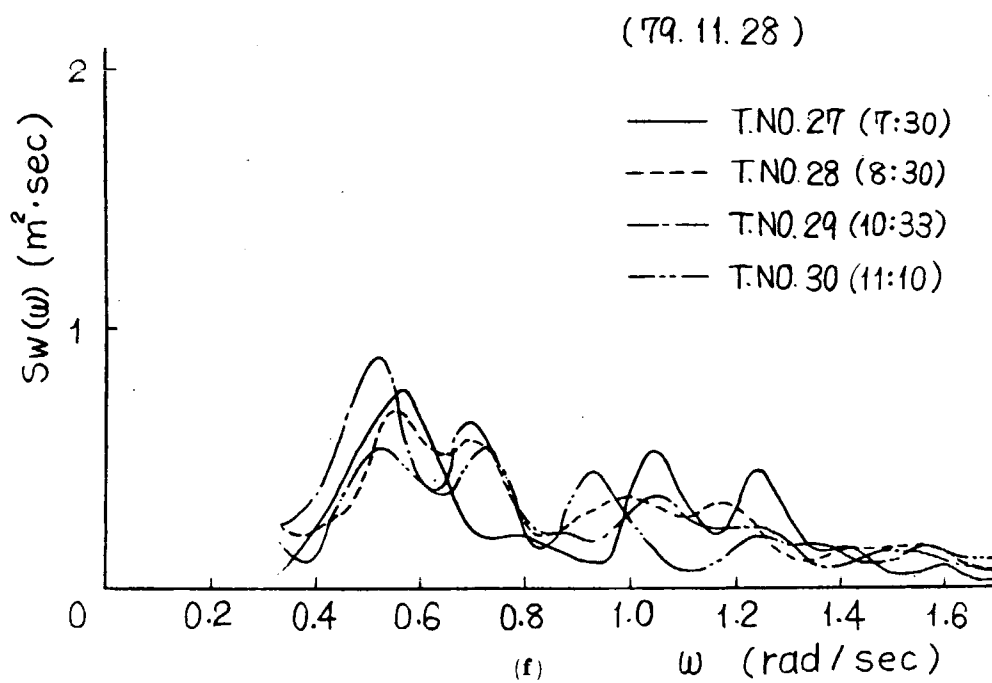
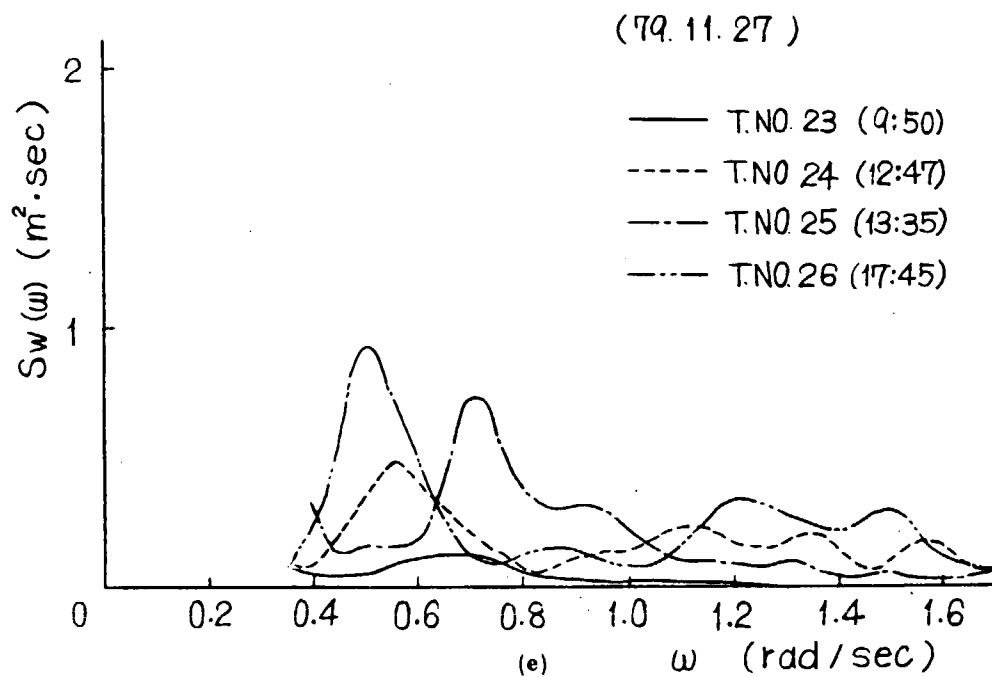


Fig 3.9

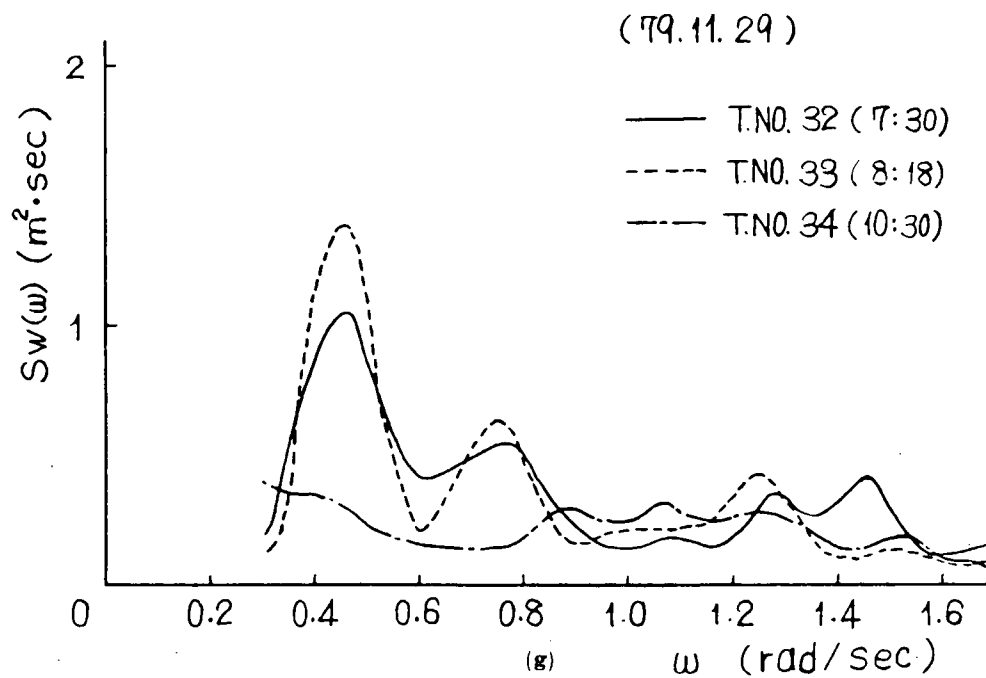


Fig. 3.9

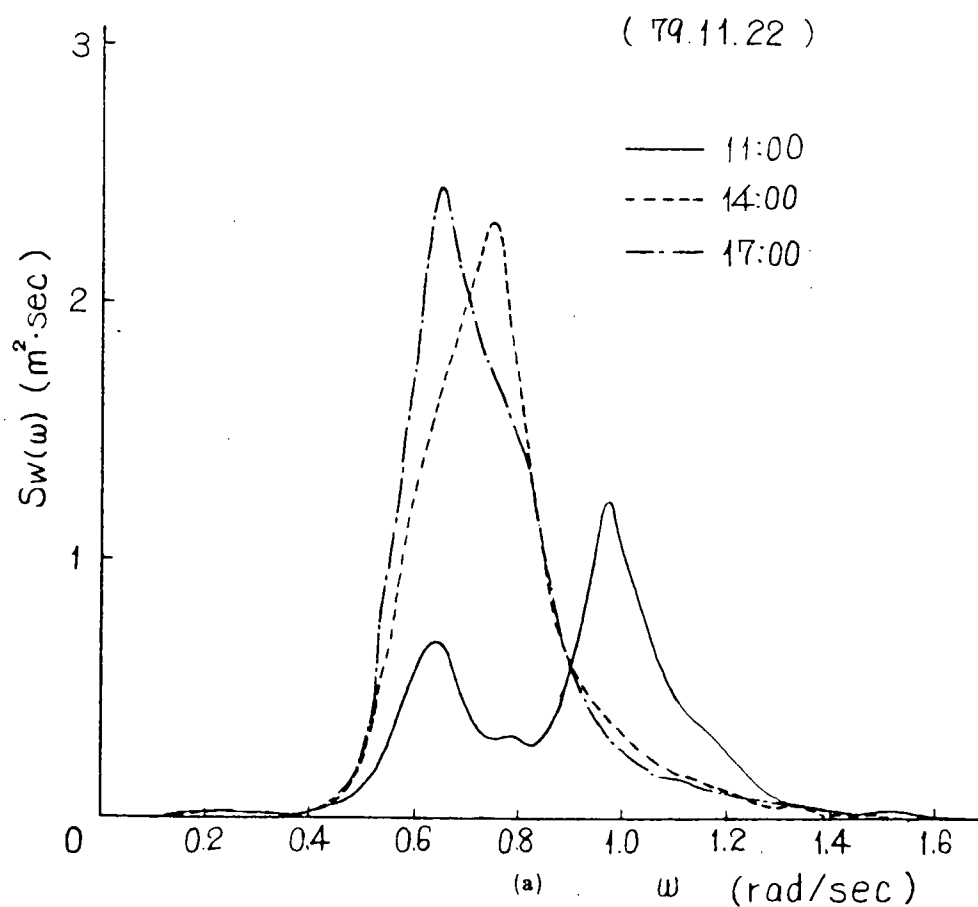


Fig. 3.10 Wave Spectra by Ship Borne Wave Recorder of Tucker Type
タッカー式波浪計による波スペクトラム

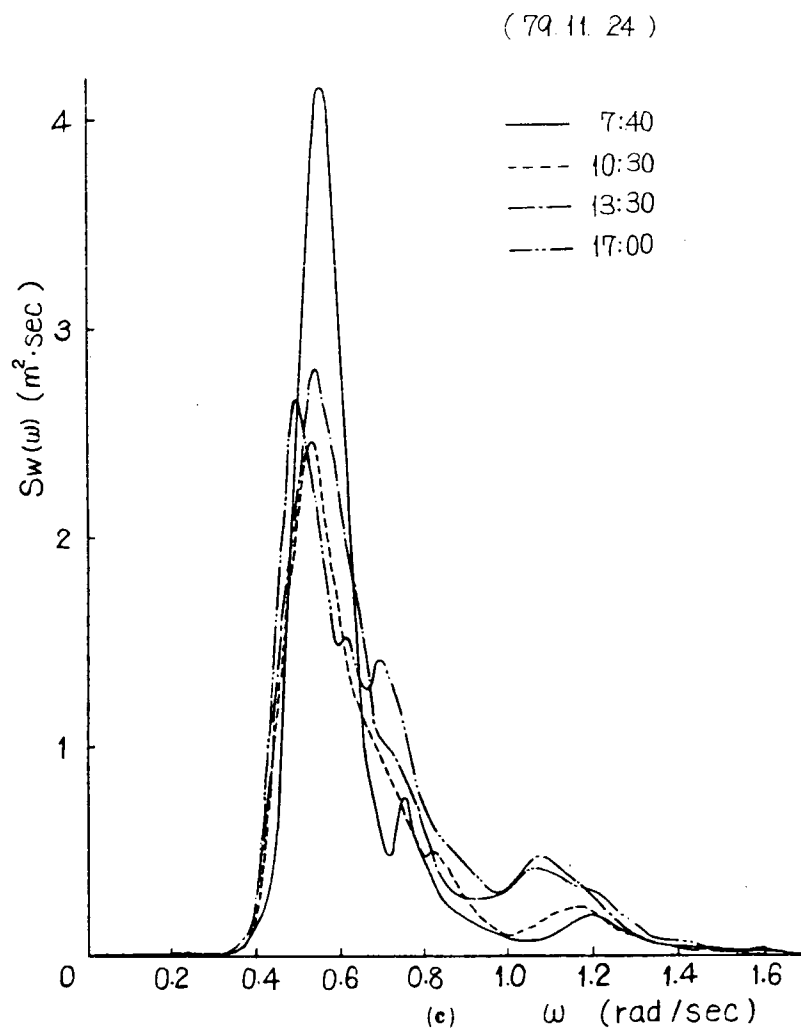
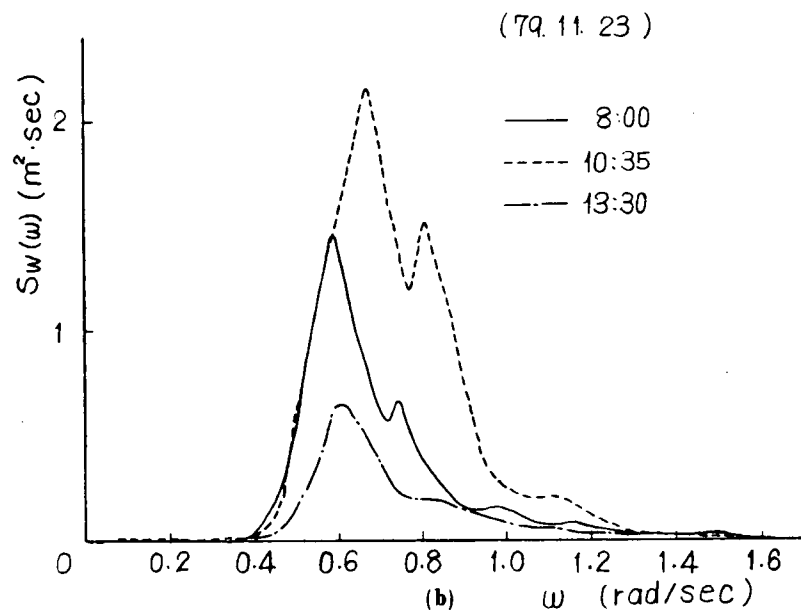


Fig. 3.10

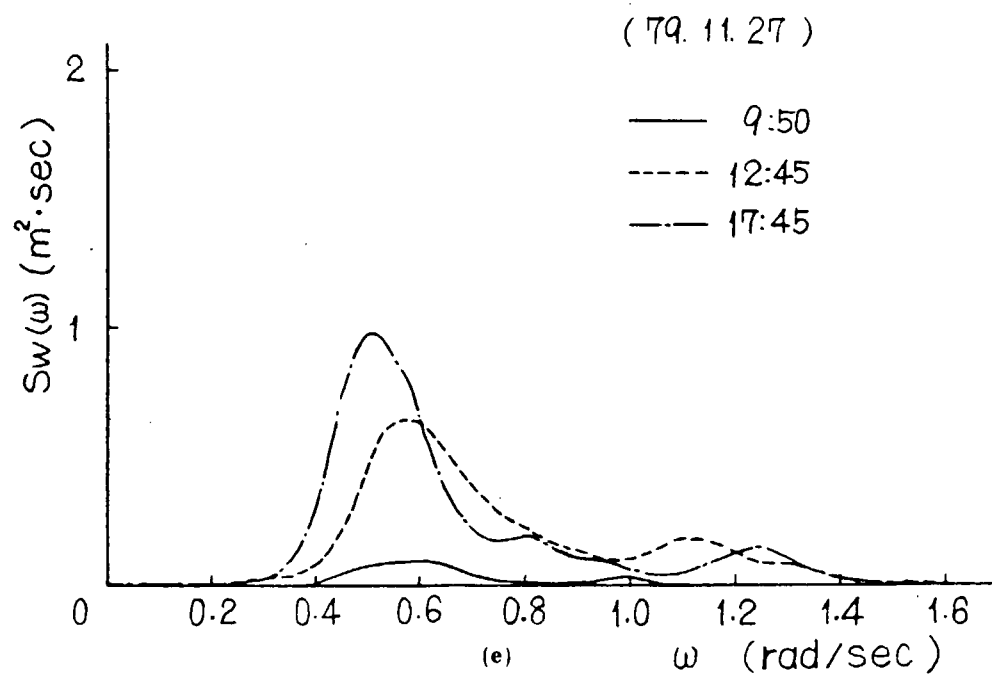
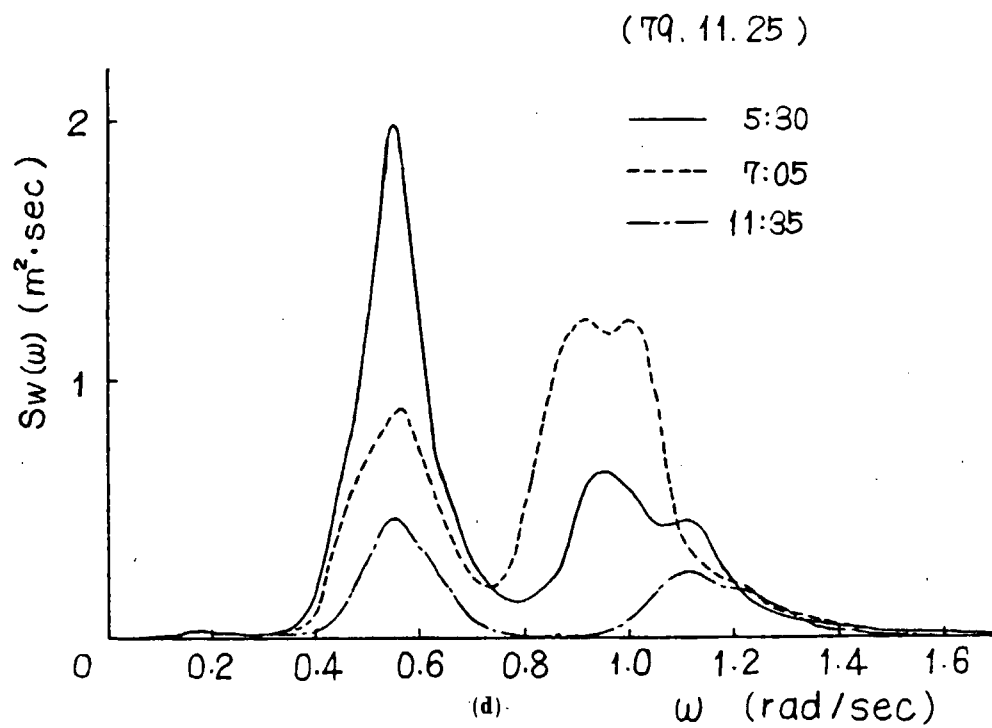


Fig 3.10

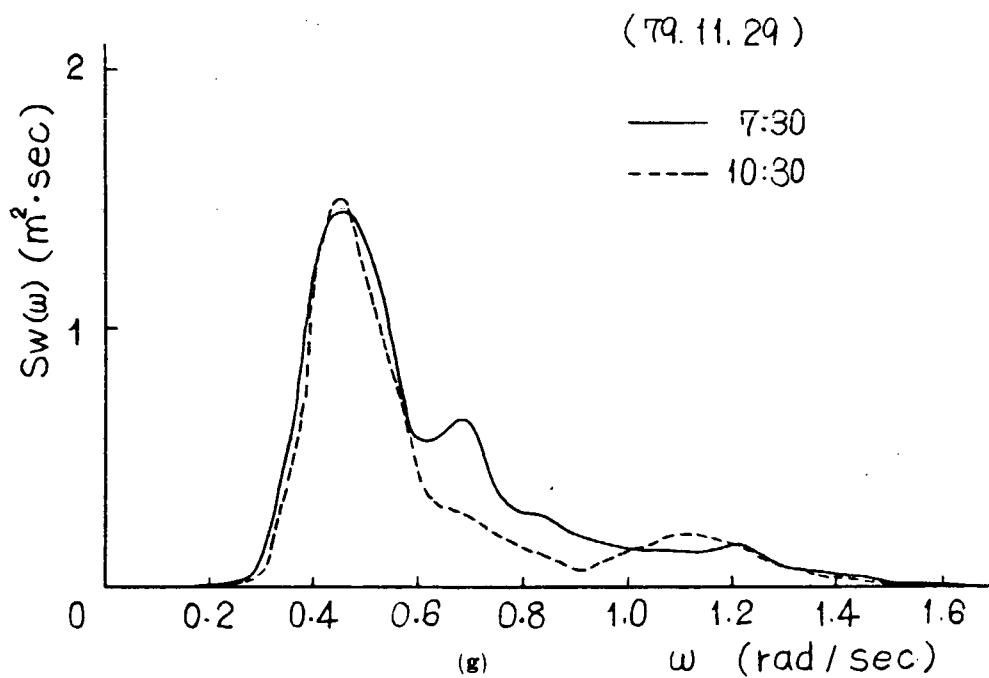
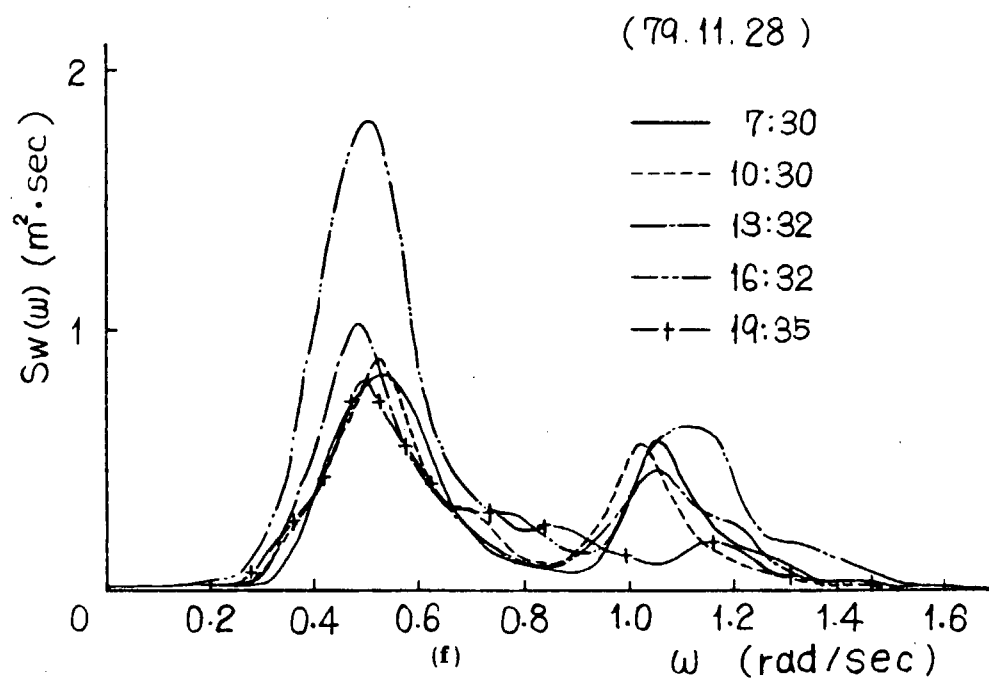


Fig. 3.9

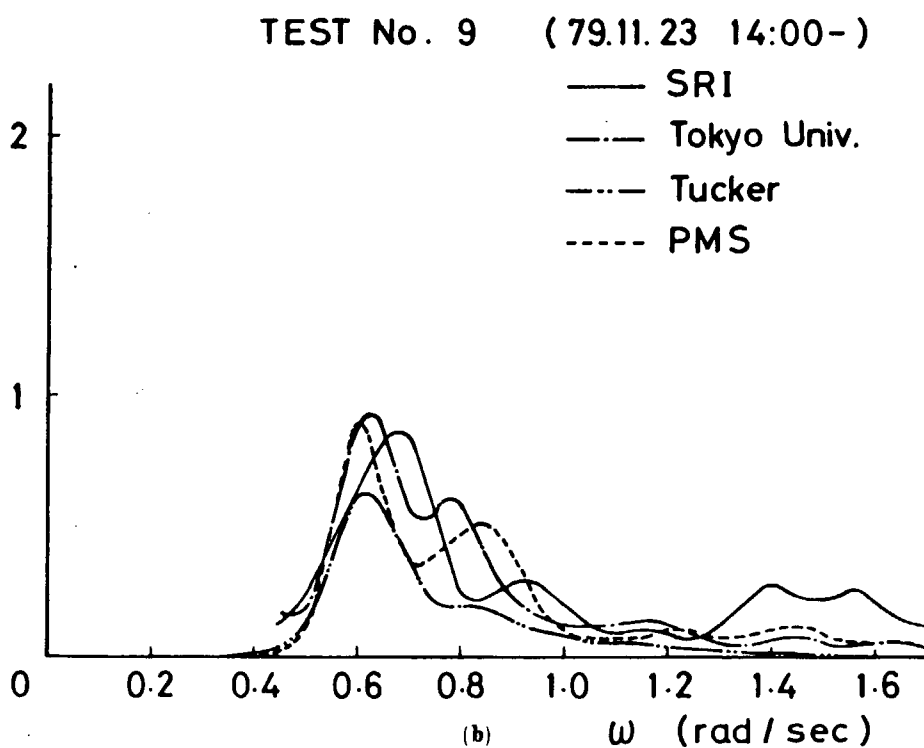
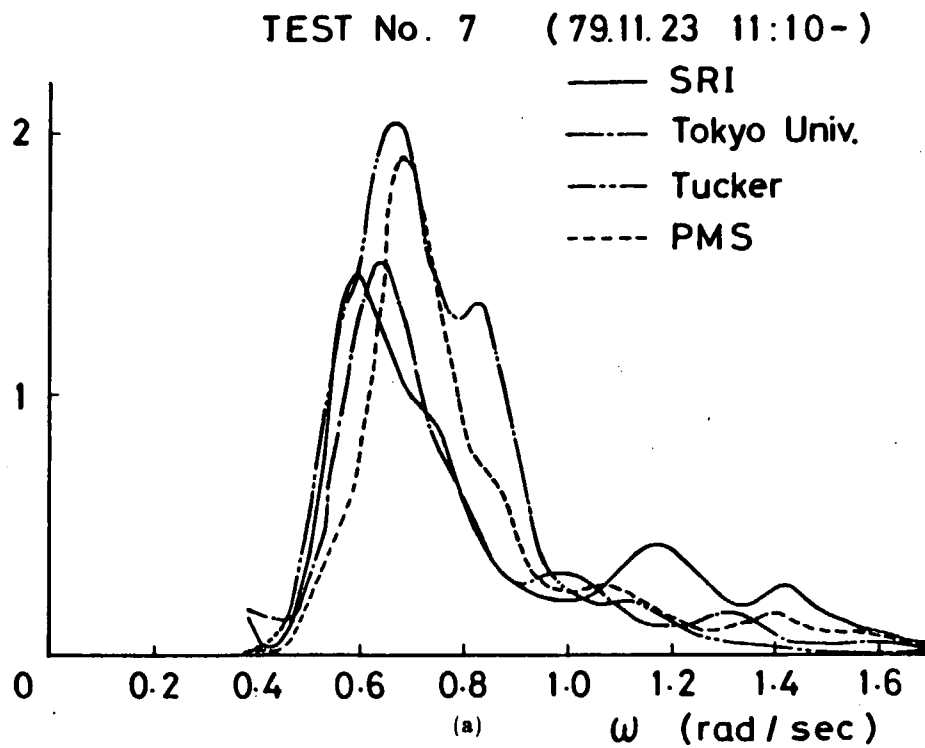


Fig. 3.11 Comparison of Wave Spectra Obtained by Various Wave Recorder
各種波浪計による波スペクトラムの比較

TEST No. 14 (79.11.24 10:30-)

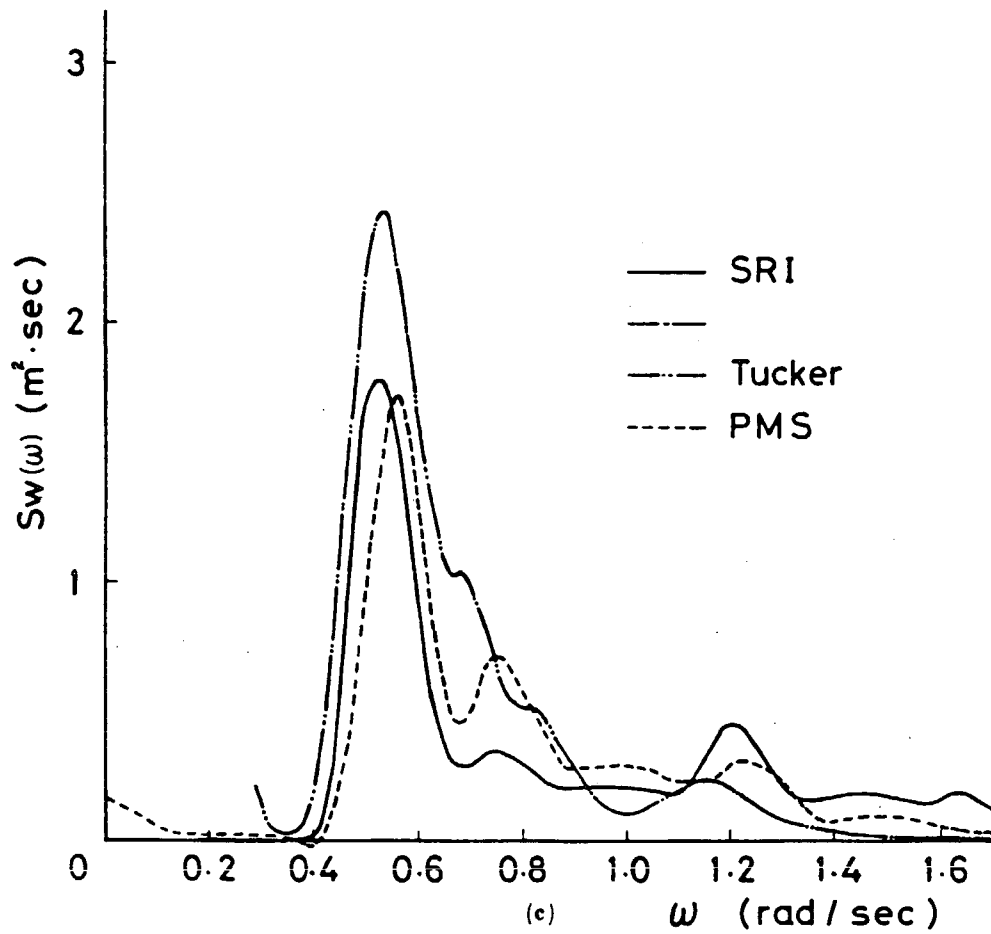


Fig. 3.11

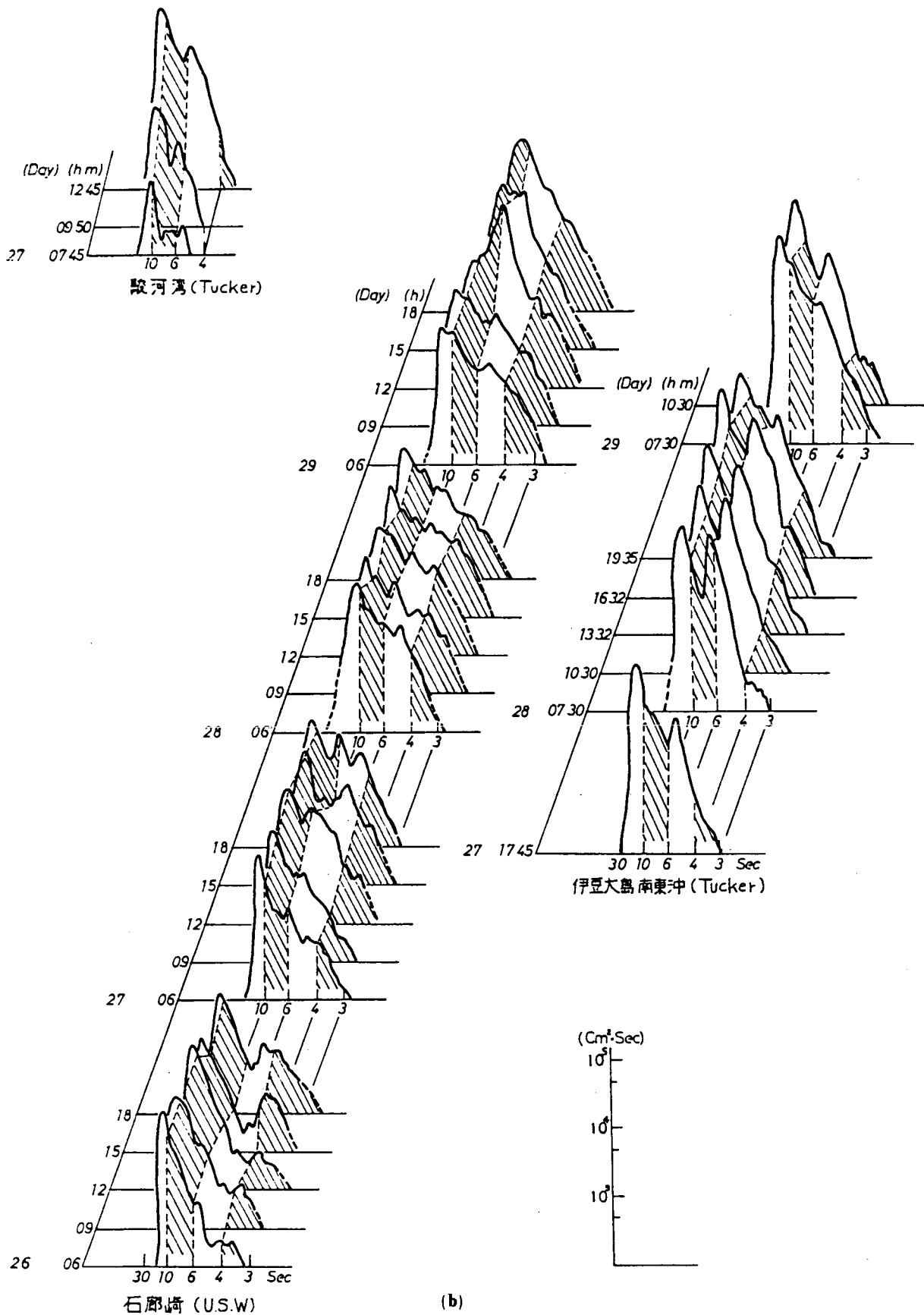


Fig. 3.12

Tab. 3.3 Comparison of Wave Height and Period by Various Wave Meter
各種波浪計による波高と波周期の比較

TIME TUCKER	11.22	11.22	11.22	11.23	11.23	11.23	11.23	11.23	11.23	11.24	11.24	11.24	11.24	11.24	11.25	11.25	NO. & DX HOUR WAVE METER
	14:00	17:00	8:00	10:35	10:35	11:00	13:30	14:00	14:00	7:40	10:30	11:10	13:30	17:00	5:30	7:05	
2.54	2.71	2.18	2.10	2.42	30.19	2.28	50.68	2.15	2.76	1.53	2.81	2.85	2.74	2.73	2.73	2.73	AVERAGE LEVEL
4071.27	6675.54	6926.99	3652.39	6889.25	6633.75	1757.82	4074.17	7685.76	6552.78	5878.20	8197.32	8225.37	5186.77	5628.98	5628.98	5628.98	VARIANCE
63.81	81.70	83.23	60.43	83.00	81.45	41.93	63.83	87.67	80.95	76.67	90.54	90.69	72.02	75.03	75.03	75.03	S. DEVIATION
177	147	144	138	151	177	151	222	130	134	196	135	147	152	171	171	171	NO. OF WAVES
199	173	166	187	171	288	204	378	177	171	329	180	186	193	196	196	196	NO. OF PEAKS
38.8	56.8	20.3	36.7	23.4	10.7	21.5	14.5	35.5	42.9	43.9	40.1	16.8	34.3	19.0	19.0	19.0	KHI-SQUARE
225.3	342.3	283.8	-197.8	275.0	-256.1	-125.8	231.5	324.2	298.8	-250.5	286.6	-301.4	296.3	278.4	278.4	278.4	XHEN (I) MAX
807	1664	512	1378	2221	1160	442	1889	346	1596	282	1525	466	1493	556	556	556	I IN MAX
159.4	200.1	206.4	147.4	201.4	201.3	102.3	142.4	207.9	200.8	177.6	226.5	214.5	172.9	182.1	182.1	182.1	H-BAR
239.6	321.9	320.6	235.6	322.1	309.6	159.7	226.2	345.7	302.6	284.9	346.5	344.1	270.3	283.2	283.2	283.2	H (s)
298.3	422.5	412.7	295.6	401.6	369.8	189.1	289.3	448.1	374.7	351.2	398.9	434.3	330.9	362.3	362.3	362.3	H (1/10)
355.2	601.4	525.7	369.8	520.0	474.7	223.2	352.6	541.3	489.4	454.9	460.9	533.8	475.9	449.4	449.4	449.4	H (Max)
6.743	8.068	8.281	8.623	7.917	6.729	7.874	5.340	9.188	8.929	6.097	8.804	8.139	7.859	6.988	6.988	6.988	T-BAR
7.458	8.531	8.729	9.804	8.980	8.364	9.290	7.399	10.907	10.444	8.162	10.900	10.265	9.706	7.553	7.553	7.553	T (s)
7.556	8.500	8.929	9.821	9.133	8.472	9.433	8.182	10.923	10.115	8.800	10.714	10.600	10.500	7.824	7.824	7.824	T (1/10)
7.500	9.000	9.500	10.000	8.500	7.500	8.500	8.000	11.000	12.000	8.500	10.500	9.000	11.500	8.500	8.500	8.500	T (Max)
6.030	6.936	7.229	6.417	7.018	4.167	5.882	3.175	6.780	7.018	3.647	6.667	6.425	6.218	6.122	6.122	6.122	T (c)
4071.2	6675.5	6926.9	3652.3	6889.2	6633.7	1757.8	4074.1	7685.7	6552.7	5878.1	8197.3	8225.4	5186.7	5628.9	5628.9	5628.9	C (O)
8142.4	13351.0	13853.8	7304.7	13778.5	13267.4	3515.6	8148.2	15371.4	13105.4	11756.2	16394.6	16450.7	10373.4	11257.8	11257.8	11257.8	ENERGY
8135.3	13349.4	13850.5	7304.2	13778.3	13020.9	3515.1	7969.3	15373.4	13102.1	11596.9	16387.4	16443.9	10372.5	11250.7	11250.7	11250.7	E *
6.7	7.9	8.0	8.4	8.0	6.1	7.7	5.2	9.2	8.7	5.8	8.4	8.3	7.8	7.0	7.0	7.0	T (z)
159.6	204.5	208.3	151.3	207.8	202.0	104.9	158.0	219.5	202.6	190.6	226.6	227.0	180.3	187.7	187.7	187.7	H-BAR
255.3	327.0	333.1	241.9	332.2	322.9	167.8	252.6	350.9	323.9	304.8	362.3	362.9	288.2	300.2	300.2	300.2	H (s)
324.7	415.9	423.7	307.7	422.6	410.8	213.4	321.4	446.4	412.1	387.7	460.8	461.6	366.6	381.8	381.8	381.8	H (1/10)
5.0	5.7	5.5	5.6	5.7	2.6	5.1	2.6	5.8	5.2	2.9	5.3	5.6	5.3	5.0	5.0	5.0	T (c)

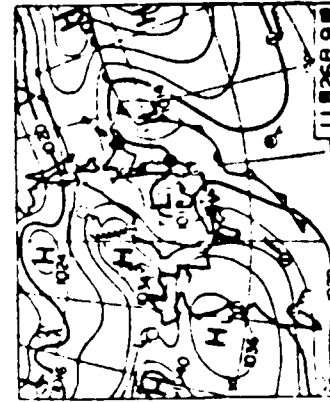
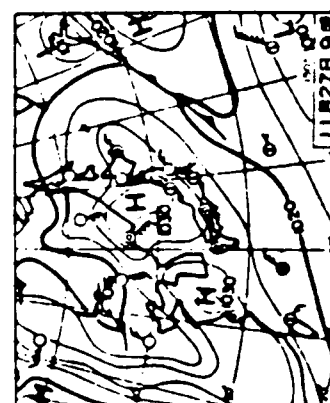
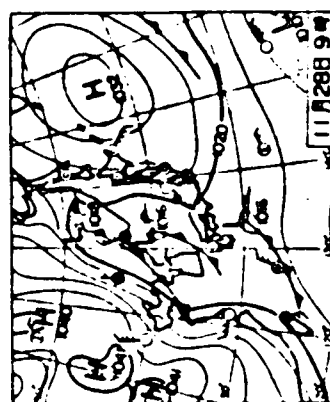
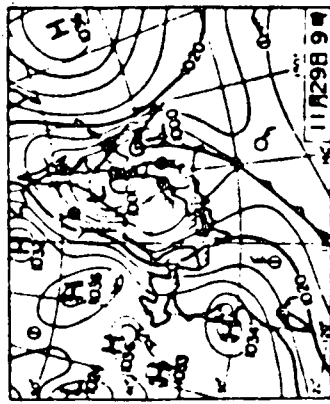
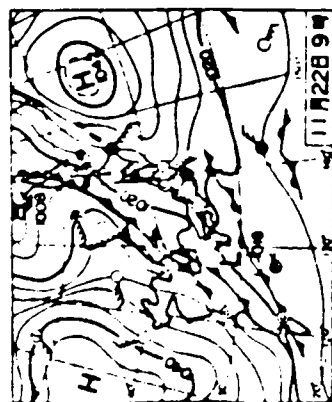
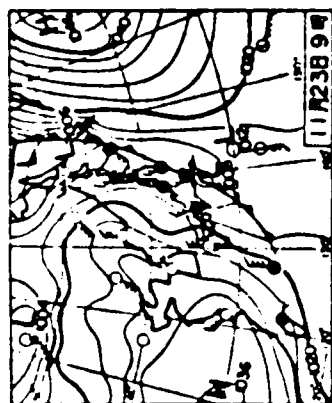
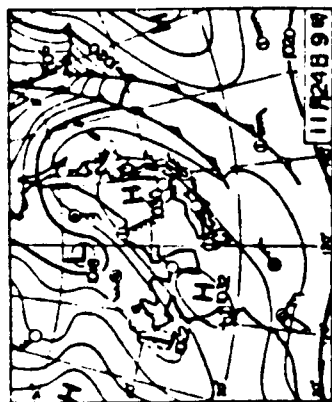
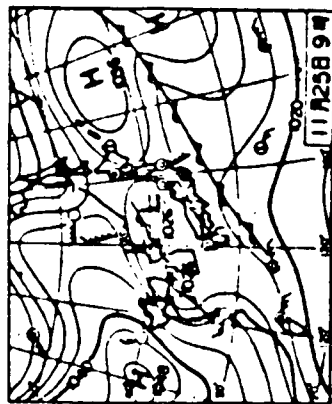


Fig. 3.13 Weather Charts during the 2nd Experiment
第2回波浪計測実験期間の地上天気図(1979年11月22日～29日)

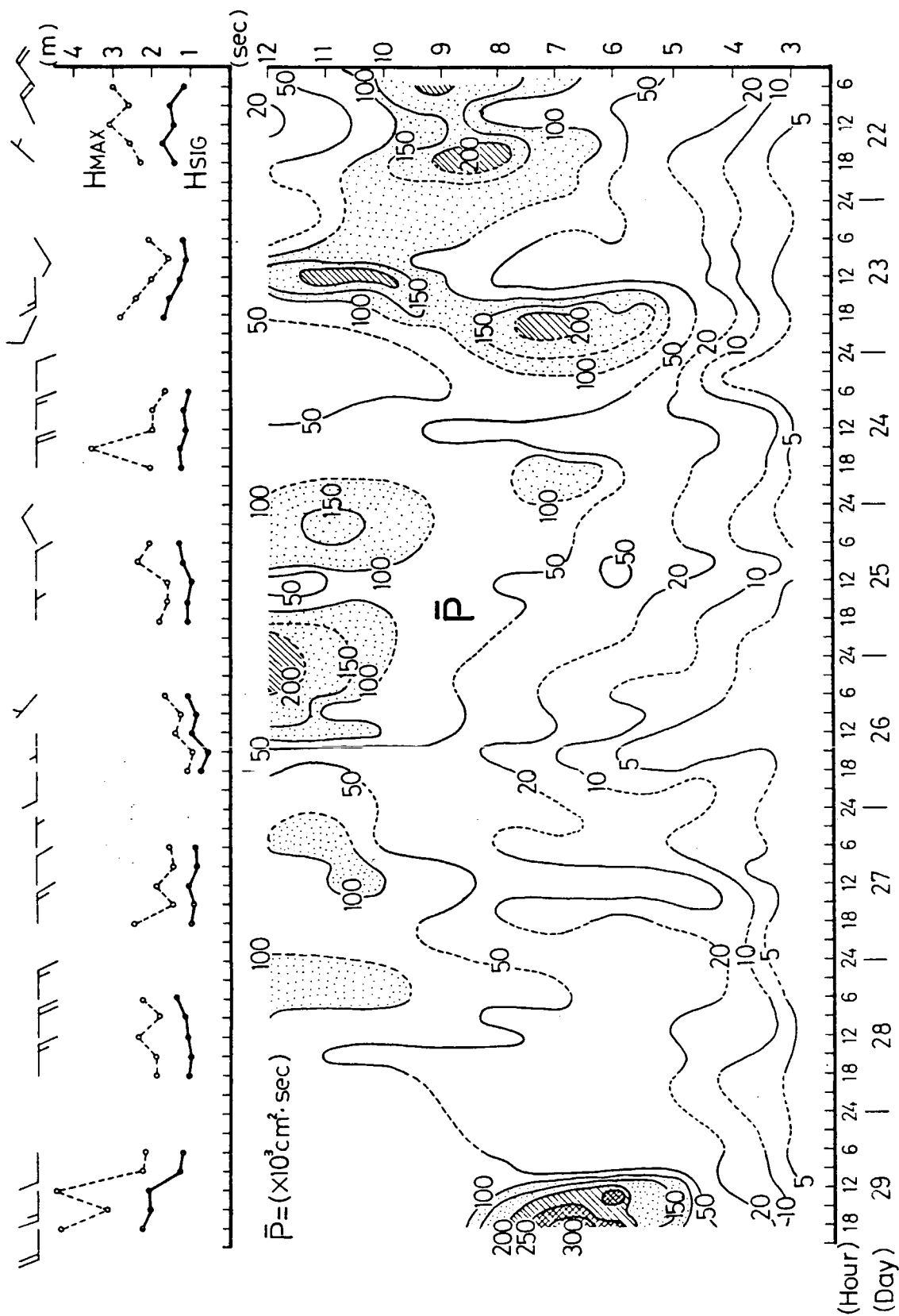


Fig. 3.14 Equi-energy Density Curve of Wave Spectra Measured by the Off-shore Wave Meter at Irōzaki

石廊崎沿岸波浪計による等エネルギー密度図