

日本船舶振興会昭和49年度補助事業
“船体の構造計算方法の精密化に関する開発”

研究資料 No. 214

第132研究部会

実船搭載用波浪計に関する研究

報告書

昭和50年3月

社団法人
日本造船研究協会

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会の昭和49年度補助事業「船体の構造計算方法の精密化に関する開発」の一部として、日本造船研究協会が第132研究部会においてとりまとめたものである。

第132研究部会委員名簿（敬称略、順不動）

部会長	田宮 真（東京大学）	井上 篤次郎（神戸商船大学）
幹事	泉 晃（三菱重工業）	植竹 信次郎（日立造船）
	岩柳 順二（船舶技術研究所）	高石 敬史（船舶技術研究所）
	雁野 昌明（日立造船）	竹沢 誠二（横浜国立大学）
	高橋 幸伯（東京大学）	外山 崇（大阪府立大学）
	田口 賢士（大阪府立大学）	前田 久明（東京大学）
	細田 龍介（大阪府立大学）	山内 保文（三井造船）
	光易 恒（九州大学）	
	渡辺 四郎（川崎重工業）	
委員	岡田 高（沖電気工業）	梶田 悅司（石川島播磨重工業）
	立木 正昭（佐世保重工業）	西岡 正美（造船工業会）
	根角 幸明（日立造船）	福田 淳一（九州大学）
	藤田 孝（三菱重工業）	藤原 芳夫（名村造船）
	松井 明男（住友重機械工業）	望月 光易（三井造船）
関係官庁	上田 研一（海上保安庁）	小倉 正男（航海訓練所）
	坂田 初太郎（気象庁）	

目 次

1. 研究概要	1
2. 水压式波浪計(I)	2
3. 水压式波浪計(II)	4
4. その他の波浪計	8
4.1 クローバー型波浪計	8
4.2 加速度型波浪ブイ	10
4.3 反射型波浪計	12
4.4 レーザ波浪計	13
5. 実船計測による波浪情報	16
5.1 笠木山丸における波浪計測	16
5.2 コンテナ船における波浪計測	51
6. レーダ波向計	85

1 研究概要

本49年度事業の主なものは、水圧式波浪計2種およびレーダ波向計による実船波浪情報の計測、集積と、波向計陸上システムの製作およびそれによる資料解析である。

第2章以下にこれら実施事業の報告が記載されるが、初年度（昭和45年度）以降5年間の経過の概要、この間の大西洋計測の動向（国内、国外）の展望、海洋波のスペクトル構造、波向計測システムによる解析結果等については、別に最終報告書を編集してとりまとめることとする予定である。

水圧式波浪計(I)はひきつづき笠木山丸実験航海（～第5次航）に使用せられた。第3次航までの実績においておだやかな海象が多かつたのに作動不良の例が多かつたので、49年6月にメーカーと改善策を検討し、主としてブイ内への浸水防止の見地から対策を立案実施したが、その後も格別の成績向上がみられなかつたのは残念である。ただし使用状況、計号記録等を精査した結果、ケーブルを含めてセンサー部分を改良することにより、かなり事故を減少しうる可能性がある。

水圧式波浪計(II)は49年4～5月に気象庁観測船啓風丸の波浪観測に参加し、その後SR125の実船試験に供給された。後者についての報告はSR125の報告書に記載される。

レーダ波向計測システムのうち、船上システムは48年度に完成し、観測資料がひきつづき集積されている。陸上システム（波向解析装置）は本年度完成し、前記観測資料の解析が始まられている。

反射型（レーダ）、加速度型、クローバ型、レーザ型各波浪計について、それぞれ改良、開発が行われた。反射型波浪計は原子力船“むつ”的試験航海に整備、使用することを認めたが、目下のところ実施時期がいつになるか不明である。

2 水圧式波浪計 (I)

2.1 実船搭載用波浪計

試作機および実用化試作機については、昨年度報告書に述べられており、実用機についても仕様の変更はないのでここでは省略する。

本年度の計画は、

- 1) 昨年度の実験実績（第1次航～第3次航）の検討を行ない。
- 2) 昨年度製作され、未使用分の改良、補修を実施する。
- 3) 本年度分を製作する。

であつた。

本計画にもとづき、昭和49年6月11日に実績検討小委員会が開催され、次の点についての改良を実施することとなつた。

- 1) Buoy本体締付け部のパッキング、その他の補強を行ない、漏水テストを充分に行なう。
- 2) 波高計上部室に防水壁を設ける。
- 3) 電池収納部の径を大きくし、接触不良の対策も併せて行なう。
- 4) センサーケーブルのホルダー部を補強する。
- 5) 自沈装置作動の遅延を図る。

以上およびその他の改良を昨年度製作未使用分および本年度製作分に施すこととなつた。

この他に本年度は、受信機、パンチャヤー等の補修が行なわれた。

2.2 実船試験

前節に述べた改良を施した波浪計を笠木山丸に搭載した。なお、本計画における波浪計の搭載および使用状況の実績をTable 2.1に示す。

Table 2.1 実績表

航海次数	1	2	3	4	5	計
実施期間	48-12-16 49-1-8	49-1-16 49-2-25	49-3-1 49-3-31	49-8-25 49-9-25	49-9-30 49-10-23	
担当者	大阪府大 細田	神戸商船大 井上	川崎重工 池淵	大阪府大 外山	東京大学 小畑	
搭載	20	20	10	15	12	
使用	20	11	6	14	11	62
成功	12	5	4	7	5	33

表に示される実績によれば、成功率は53%となる。成功しなかつたものの原因として考えられる点は次に示される通りである。

- 1) センサー不良によるもの 12台
- 2) 送信部不良と考えられるもの 11台
- 3) 投入法不良のもの 5台
- 4) パンチャヤーの作動不良のもの 3台

5) 不明のもの 3台

である。なお、1)の中には製作過程における圧力調整が不適であるためと考えられるものが多い。2)の中には、電池の接触不良、漏水による短絡が原因と考えられるものがある。3)のうち3台はランチャーを使用、2台は曳航(投入ミス)によるものである。(2次航以降はランチャーの使用を中止した。) 4)の3台は、モニター用のアナログ記録は集録できている。

一方、本年度改良分については、送信部の不良は少なく(4台)、センサー不良と考えられるものが大きな割合を占めている(8台)。これはランチャーを使用しなかつたため、衝撃による送信不能が少なくなつたためと考えられる。

2.3 計測結果の処理

計測の結果得られた紙テープデータは、主に大阪府立大学計算センターにおいて電算機処理が行なわれた。

解析結果および検討は第5章を参照のこと。

2.4 む す び

本部会において製作された実船搭載用投棄式波浪計は、実用化の期間が短かつたため、実船試験においては十分の成果は得られなかつた。しかも、5回に亘る実船計測のうち全体としての成功率は53%であり、波浪計測の将来性に関しては、本部会の波浪計に更に改良を加えることによつて十分実用に供し得る波浪計とすることが出来ることが確認された。

終りに、本波浪計の開発ならびに実船試験における計測に御協力頂いたSR124研究部会委員各位、運輸省航海訓練所、国立防災センター平塚支所、船舶技術研究所、海上保安庁、神戸商船大学、三菱重工[㈱]、大阪商船三井船舶[㈱]の関係者各位、および波浪計の製作を担当された神戸電波[㈱]の関係者各位に御礼申し上げる。

3 水压式波浪計(Ⅱ)

本波浪計関係の装置は波浪計と受信装置、それに波浪計を船上より投下するためのランチャーワーク（自動投下装置）より構成されている。本波浪計の概要は既に昭和47年度研究資料No.177および昭和48年度研究資料No.193に報告してある。その後実船試験用の投棄型波浪計として使用するためにいくつかの改造を施してきた。そこであらためて今年度使用した本波浪計関係の装置の性能と今年度改造した点について報告する。また本波浪計を使用した実船試験についても併せて報告する。

3.1 波浪計

本年度に改造を施した点は無い。波浪計測の実船試験の完璧を期して、納入時の検定に当つては全数テストを行ない、全数にわたつて水圧検出部の特性表を付した。

性能は次の通りである。

本体寸法	全長2.2m (水面上1.2m)
浮体	排水量20kg (浮体1個)
総重量	9.3kg (含水圧検出部、乾電池、空中線)
本体構造	完全密閉防水型
発信方式	2倍倍水晶制御方式
変調方式	FM/FM
送信出力	0.7W
搬送波周波数	4.068MHz ± 5 × 10⁻⁵
副搬送波周波数	3.9kHz ± 7.5%
波高測定範囲	最大15m
測定期間	2.5sec ~ 20sec
測定時間	60分以上
測定距離	海上15km以上
使用乾電池	AM-2×9 = 12.6V 300mA UM-3×9 = -12.6V 10mA
水圧検出部	半導体圧力検出素子 (没水深度50m)
耐衝撃性	船上で水面よりの高さ15mの場所から海面に正常投下した場合の衝撃に耐える。
耐温度特性	温度0°C ~ +40°C の範囲内で機能上支障を生じない。

3.2 受信装置

内部較正は、従来は3.9kHz ± 7.5%の信号を与える発振器を内蔵して行つていた。ところで出力は±1Vの電圧で取り出すようになつており、また発振器による内部較正では安定しないこともあることから、今年度は改造を加えて内部較正を測定レンジの如何に拘らず直接に±0.25Vと±0.5Vの電圧で与えることとした。

性能は次の通りである。

受信方式	ダブルスパー・ヘテロダイン FM-FM
------	---------------------

受信周波数	40.68 MHz
受信空中線	$\lambda/2$ 垂直ダイポール
選択度特性	6 dB入力にて ±10 kHz 以下 60 dB入力にて ±20 kHz 以下
20 dB 雑音抑圧感度	3 dB 以下
副搬送波中心周波数	3.9 kHz ± 50 Hz
出力電圧	波高 15 m ($\pm 7.5 m$) にて ±1 V 10 m ($\pm 5 m$) にて ±1 V 5 m ($\pm 2.5 m$) にて ±1 V
出力インピーダンス	300 Ω 以下
内部較正信号	3 レンジ共 ±0.25 V, ±0.5 V
電源部	AC 100 V 50/60 Hz トランジスタ安定化電源付

3.3 ランチャー

商業航路における一般船舶による実船試験にあつては、計測機器類の船上への搬入、搬出ならびに据付、撤去は本船が停舶中の短時日の間に完了しなければならない。ことにコンテナ船にあつてはこの条件が厳しい。従つて計測機器類は軽量で船上での配線が簡便であることが望ましい。そこで今年度は重量の軽減化をはかるためにアイホルダーを1個撤去し、ランチャー本体を2分割して単体の重量を軽くした。またランチャーの使用済、未使用を標示するアンサーバックは実用上無くとも差支えないので、ランチャーとコントロールボックスを継ぐ制御信号ケーブルは8本から4本に減らした。

性能は次の通りである。

ランチャー本体

数量	3台 1組 × 2基
1台の諸元	寸法 320 (幅) × 400 (長さ) × 1350 (高さ) × 1000 (長さ)
	重量 25 kg および 45 kg の 2分割

ジャンクションボックス

数量	2台
1台の諸元	寸法 200 (縦) × 300 (横) × 170 (高さ)
	重量 5 kg

コントロールボックス

寸法	250 (縦) × 485 (横) × 200 (高さ)
重量	8 kg

制御信号ケーブル

仕上り外径	13 Ø mm 7芯ビニールキャブタイヤケーブル
長さ	120 m 4本
長さ	30 m 2本
長さ	5 m 12本

3.4 実船試験

3.4.1 啓風丸による実船試験

昭和49年4月23日から5月2日までの10日間、伊豆大島南東50kmの海域で気象庁所属観測船啓風丸に便乗して波浪計測を行つた。実験の目的は本波浪計の性能を確認することであり本船所有のPMS外洋波高計（本波浪計と同種のもので大型であり重量は50kgである）を準器として計測を行つた。解析結果をTable 3.1に、またコレログラムとスペクトラムをFig 3.1に示す。ただし啓風丸ミニコン解析とは啓風丸積載のミニコンによる解析結果であり、そのスペクトル解析には水圧式波浪計特有の水圧検出部の没水深度と周波数に応じた振幅の修正は施していない。水圧検出部の没水深度は本波浪計とPMS式とはそれぞれ50mと70mであることを考慮しても両者の計測値には10%以上の差異は無く有意な差があるとは認められない。そのほか水圧検出部を意識的に落下させずに波浪計本体に固着したままの試験を行つた。この場合には、目視波高にくらべて計測波高が極めて低く、コレログラムならびにスペクトラムから白色の不規則過程に近いことが認められた。この結果から、昨年度の北太平洋における実船試験の記録のうち水圧検出部が落下しなかつたと推定される例があることがわかつた。また受信装置の測定レンジによる影響を調べてみたが、15mレンジでは5m、10mレンジに比して若干高目に出る傾向がみられるが、3者ともに有意な差は認められなかつた。

3.4.2 冬期北太平洋における実船試験

本波浪計はSR125研究部会（超高速コンテナ船の耐航性に関する研究）に提供され、昭和49年11月25日から昭和50年1月18日までの間PNW航路（神戸・大井—シアトル・バンクーバー）において実船試験が行われた。

終りに本波浪計の開発ならびに実船試験にご協力いただいたSR125研究部会委員各位、とくにSR125実船計測小委員会竹沢主査をはじめ委員各位、海運会社、造船会社の関係者の方々、航海訓練所、海上保安庁、気象庁、船舶技術研究所の関係者の方々、また久保田気象測器㈱の方々に厚くお礼申し上げる。

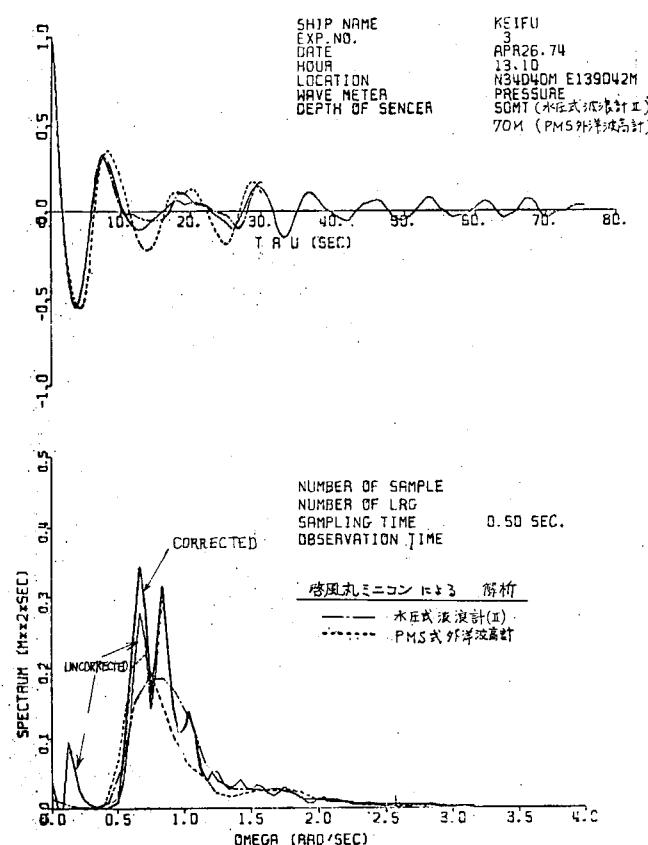


Fig 3-1

Exp.No. KEIFUU-3		Visual Observation	Swell	Wave
Date	1974 4.26		Direction	140° 210°
Location	N 34°40' E 139°42'		Encounter Angle	P-154° P- 84°
Weather	Barometer		Height	2 m 1 m
Temp.	Air 16.4°C Sea 15.5°C		Length	
Wind	Direc. 225° Speed 11.5m/s		Period	8 sec. 3 sec.
Ship	Direc. 294° Speed 0 kts	東大生研解析	啓風丸ミニコン解析	啓風丸ミニコン角解析
Hour		水压式浪浪計 (II) 13:10	水压式 浪浪計(IV) 13:05	PMS式 外洋浪浪計 12:05
Statistical Analysis	No. of Sample	1500	1200	1200
	Sampling Time (sec)	0.5	0.5	0.5
	Prewhitenning	nothing	移動平均法	移動平均法
	No. of Data	98		
	Variance of Input Data	0.2729	0.2537	0.2313
	Standard Deviation	0.5224	0.5037	0.4810
	Height (Mean value)	1.16		
	(1/3 Highest mean)	1.98		
	(1/10Highest mean)	2.76		
	Period (Zero Crossing)	5.38	5.45	5.66
	(Peak to Peak)	3.08		
Spectral Analysis	No. of Lag	150	60	60
	Window	Q	Hamming	Hamming
	Modification	Uncorrected	Corrected	Uncorrected
	Lower Limit of Integral	0.0838 rad/s	0.0838 rad/s	0.1047 rad/s
	Upper Limit of Integral	6.2832 rad/s	6.2832 rad/s	6.2832 rad/s
	Band Parameter	0.8632	0.8800	
	Variance of Input Data	0.2701	0.3148	0.2510
	Stndard Deviation	0.5197	0.5611	0.5010
	Height (Mean value)	1.30	1.41	1.25
	(1/3 Highest Mean)	2.08	2.24	2.01
	(1/10Highest Mean)	2.65	2.86	2.55
	Period (Zero Crossing)	5.01	5.32	5.07
	(Peak to Peak)	2.49	2.53	2.50
	(Narrow Band)	5.80	6.30	
Note	波、風、方向は船上に向って来る方向、絶対角度を示す。			

Table 3-1

4 その他の波浪計

4.1 クローバー型波浪計

4.1.1 概要

昭和49年度には、クローバー型波浪計を使用して得られた波浪データの解析結果をもとに海洋波の方向スペクトルの構造を明らかにすることに重点がおかれた。

一方、波浪計そのものに関しては、その心臓部をなすジャイロが製作後相当長期間にわたり使用されているので、その再調整ならびに損傷箇所の修理を行ない、さらにその検定を行なつた。

4.1.2 海洋波の方向スペクトル

海洋波の一次元（周波数）スペクトルの標準形に関しては、Pierson-Moskowitzのスペクトル、ISSCのスペクトル、あるいはBretschneiderのスペクトルなどが提出されているが、これらに対応する二次元（方向）スペクトルの形、とくに波のエネルギーの方向別分布を示す方向分布関数の形に関しては、信頼できるデータが極めて少ない。

現在よく使用されている方向分布関数 $G(\theta, \tilde{f})$ の形としては、

$$G_0(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad (1)$$

およびSWOPのスペクトル

$$G_3(\theta, \tilde{f}) = \frac{1}{\pi} [1 + a \cos 2\theta + b \cos 4\theta] \quad | \theta | \leq \pi/2 \quad (2)$$

$$= 0$$

$$| \theta | > \pi/2$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0.50 + 0.82 \exp\left(-\frac{1}{2} \tilde{f}^4\right) \\ b &= 0.32 \exp\left(-\frac{1}{2} \tilde{f}^4\right) \\ \tilde{f} &= 2\pi f U/g = U/c \end{aligned} \right\} \quad (3) \quad (4)$$

などがあげられるにすぎない。ただし、 θ は波の伝播角、 f は波の周波数、 U は海上風速、 g は重力加速度、 c は波速をそれぞれ意味する。(1)式の根拠はあまりはつきりとしないが、いくつかの観測値がこれに比較的近い形を示しているため、式が簡単なことであつて、比較的よく使用されている。(2)式は、米国においてステレオ航空写

真による海洋波の計測結果をもとにして決定されたもので、実測結果をもとにして求められた方向分布関数の標準形としては唯一ともいえるものである。しかしながら、 \tilde{f} （無次元周波数）のある値に対しては土 $\pi/2$ において不自然な不連続点を生じる欠点を有している。

4.1.3 クローバー型波浪計による計測結果

これまでにクローバー型波浪計を使用して得られた観測結果より導かれた主要な結論を列記すると次のとおりである。

- (1) 発生域内における海洋波の主方向は、風向とほぼ一致している。周波数成分による主方向の変化は少ない。
- (2) 方向分布関数 $a(\theta, \tilde{f})$ は、方向分解能の限界内では単峯性の比較的滑らかな形を示す。
- (3) 方向分布関数は Longuet-Higgins, Cartwright and Smith により最初提出された式で近似して妥当な結果が得られる。

$$a(\theta, \tilde{f}) \sim \cos^2 \theta / 2 \quad (5)$$

ここにパラメーター s は方向分布関数 $a(\theta, \tilde{f})$ の集中度に影響し、 s が大きいほど集中度が増大する。

- (4) 上式におけるパラメータ s は、波の一次元スペクトルのピークに対応する周波数 f_m 付近で極大値（10～20）をとり、それより高周波側に向つても低周波側に向つても急速に小さくなる。すなわち、1次元スペクトルのピークを構成する主要成分波の分散は小さい。
- (5) パラメータ s と波の周波数ならびに風速 U との関係は(4)式で定義された無次元周波数 \tilde{f} を使用すると近似的に次式で表現され

$$s \propto \tilde{f}^\alpha \quad (6)$$

$\tilde{f} < \tilde{f}_m$ に対しては α は正、 $\tilde{f} > \tilde{f}_m$ に対しては α は負の値をとる。

4.1.4 方向分布関数に関する一つの標準形

上に要約された海洋波の方向スペクトル、特に方向分布関数 $a(\theta, \tilde{f})$ に関する研究結果を用いて、それらを理想化して、一つの実用的な標準形が導かれた。

方向分布関数の基礎になる式としては、次式が使用された。

$$a_1(\theta, \tilde{f}) = G'_1(s) \cos^2 \theta / 2 \quad (7)$$

ここに $G'_1(s)$ は $G_1(\theta, \tilde{f})$ を規格化するための関数で

$$G'_1(s) = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \quad (8)$$

で与えられ、パラメータ s は一般には波の無次元周波数 \tilde{f} の関数である。 Γ はガンマ関数である。

問題は s の具体的な表現であるが、これまでに得られた結果を詳しく検討した結果、次のような実験式で表現出来ることが見出された。

$$s = 14 \tilde{f}^{-2.7} \quad \tilde{f} \geq \tilde{f}_m \quad (9)$$

$$= 14 \tilde{f}_m^{-6.7} \tilde{f}^4 \quad \tilde{f} < \tilde{f}_m \quad (10)$$

ここで \tilde{f}_m は波の一次元スペクトルのピークに対応する無次元周波数 $2\pi U f_m/g$ であるので、波の推算式を使用すれば無次元吹送距離 \tilde{F} （= $g F/U^2$ ）の関数として次のように求めることが出来る。

$$\tilde{f}_m = 18.8 \tilde{F}^{-0.30} \quad (\tilde{F} \leq 10^3) \quad (11)$$

以上求められた(7), (8), (9), (10)および(11)の諸式が発生域における風波の方向スペクトル、とくに方向分布関

数に関する新しい一つの標準形ともいえるものである。(11)式は有限な吹送距離における波に適用される式であるが、(7)～(10)式に対してはそのような制約は必ずしもない。したがって、(7)～(10)式の範囲においてはこの標準形は充分一般的である。

4.2 加速度型波浪ブイ

加速度型波浪ブイは、本年度の本計測には使用しないこととなつた。本年度は、担当者の自主研究として若干の改良策を試みたに留つた。

昨年度報告書に記した通り、数種類のブイ形状のものについてはほぼ満足すべき結果が得られていたので、本年は

- 1) 計測の自動化を最終目標とする計測の安定化
- 2) ブイの簡易軽量化とコストダウン

を目標として、送受信機の回路、ブイ形状などに若干の改良を施した。

図4.2.1は本年度試作したVI型の外観図である。昨年度のIV型に類するもので、加速度検出部は水中に垂下するが、ジンバル支持を廃して、錘の中に加速度計を封入しただけのものである。浮環は自動車用の古チューブを利用し、水溶性の樹脂で塞いだ小孔を有し、数時間後に自沈するようになつてゐる。

このブイはただ1個試作しただけであるが、笠木山丸による総合実船計測の第5次航において、投棄実測を行なつた。投下は玄側水面に約15mの高さから落下させた。計測結果の一部を図4.2.2に示す。約1時間半きわめて安定した計測結果が得られており、零点のドリフトはほとんど認められない。船舶無線の発信時に電波障害が認められるが、フィルター処理で解決できる程度である。

また、もう1個のブイを波浪計としてではなく、船上に設置して船体の上下動の計測装置として、笠木山丸の計測中連続使用してみたが、これも非常に安定した計測結果が得られた。

これらの結果からみて、計測の自動化、装置の軽便化およびコストダウンなどに明るい見通しが立てられるものと考える。

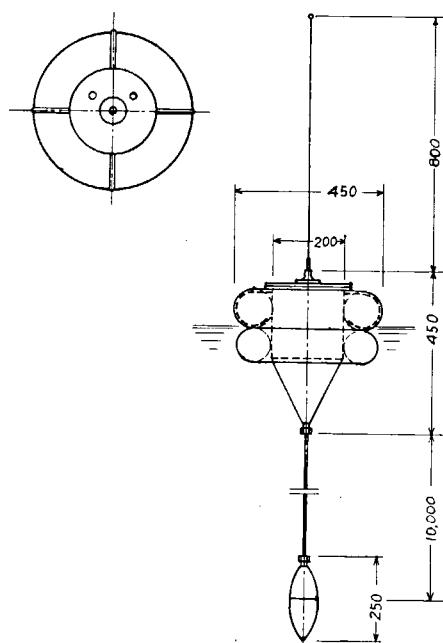


図4.2.1 加速度型波浪ブイ

SAGISAN MARU
MEASURE. No. 561

Oct. 22, 1974

11:07 — 12:26

31° 06' N, 133° 45' E

Start 6
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 3
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 1
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 2
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 4
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 5
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 7
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 8
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 9
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 10
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 11
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 12
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 13
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 14
(60 sec)

End
(60 sec)

Start 15
(60 sec)

End
(60 sec)

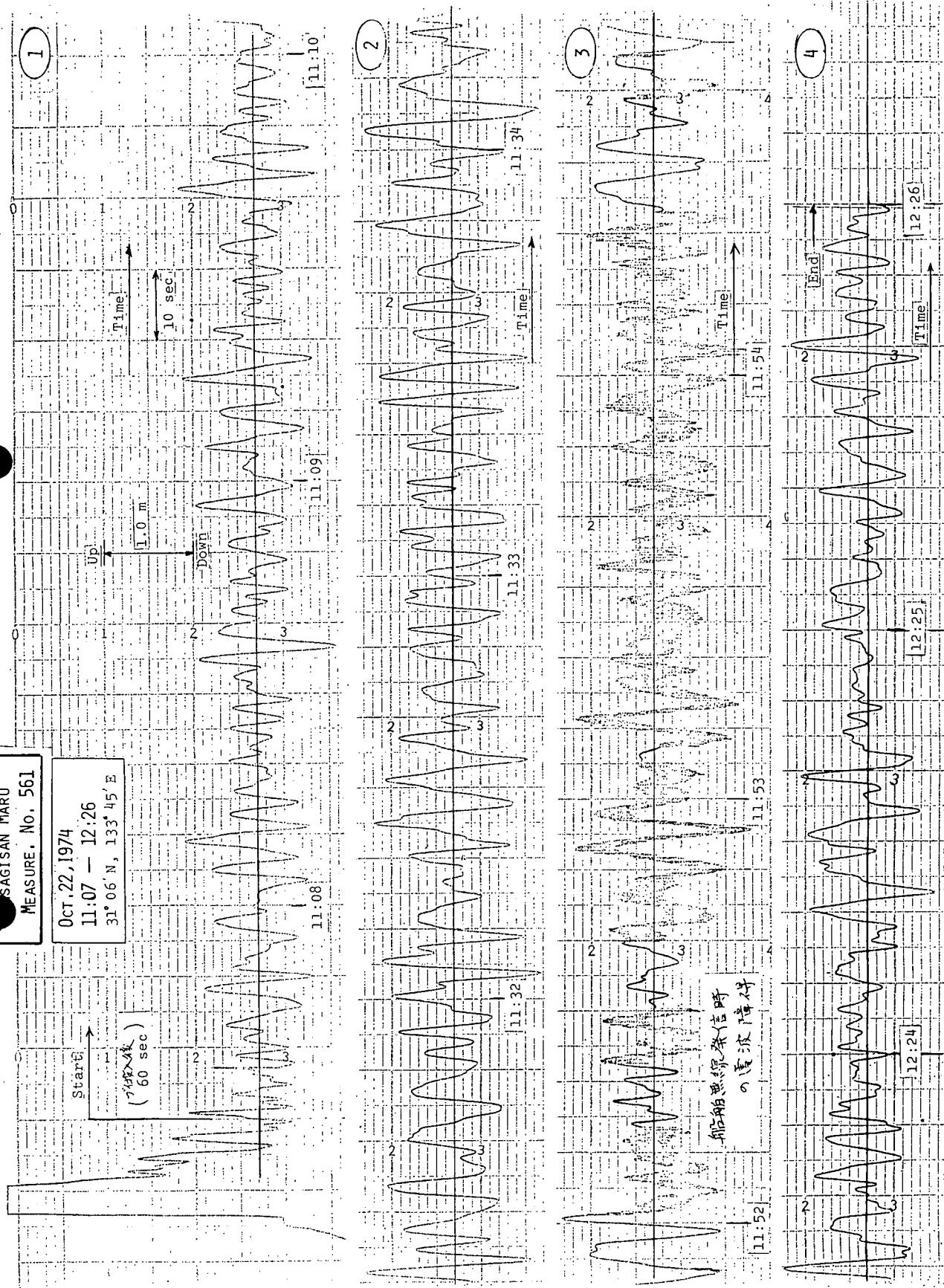


図 4.2.2 加速度型波浪ブイによる記録例

4.3 反射型波浪計

この反射型波浪計は、船体に固定したレーダードームと海面水位との距離測定と船体運動の測定より、船体付近の波高の測定を行なう計測システムである。昭和47年度に製作、性能試験を行ない、いくつかの欠陥が発見された。昭和48年度は、この結果に基づき、船体運動を検出する上下加速度計の改造、相対波高を測定する電波波高計の改良、其の他を行なつたが、なお完成には至らなかつた。今年度は、反射面の微少変位による電波波高計の異状出力の減少について実験し、ほぼ満足すべき対策を見出し、この波浪計システムの実船搭載に対する態勢を整えることができた。

レーダードームと反射面との距離が小さい場合には、反射面の微少変位5mmごとに全振幅2mに達する見かけの波高変動が生じる。前年度において、この原因は送受信面と反射面間の多重反射による受信強度の変化によるものであろうと推定し、電波吸収材を用いて送受信面での反射の減少をはかつたが、満足な結果は得られなかつた。

本年度においては、さらに研究を進め、その原因を明らかにした。

指向性6°の鋭いビームの本波高計においては、反射面と送受信面との間の多重反射による受信強度の変動は避けることが困難である。みかけ波高変動の真の原因是、変調用発振器より受信増幅器への雑音の混入であつた。雑音があるときの増幅器入力 $E_i \sin(\omega t + \phi)$ は

$$E_i \sin(\omega t + \phi) = N \sin \omega t + S \sin(\omega t + \phi)$$

であらわされる。ただし

S : 受信強度の振幅

N : 雑音の振幅

ω : 変調角周波数

ϕ : 受信増幅機入力と雑音の位相差

ψ : 受信波と雑音の位相差

であり、 N 、 ψ は一定と考えてよいが、 S が変動する。上式より

$$\tan \phi = \frac{S \sin \phi}{N + S \cos \phi}$$

で ϕ が求められる。 $N=0$ のときは一般に $\phi=\psi$ であり、しかも、 S の変化、すなわちSN比の変化によつて ϕ も変化する。 $\psi-\phi$ はSN比が60dBでは1cm以下であるが、20dB, 10dB, 0dBにおいて $\phi=45^\circ$ のとき、それぞれ0.42m, 1.20m, 2.50m, $\phi=90^\circ$ においては0.64m, 2.05m, 5.00mとなる。

SN比を変化させ、反射板の微少変位によるみかけ変位量を測定し、SN比=30dB, 16dB, 6dBのとき、出力変動=0.50m, 1.00~1.50m, 2.00~3.00mを得た。この実験より出力変動は上に述べた変調器より受信器への変調周波数の雑音の混入によるものであることが確かめられた。

そこで受信機にフィルタを入れ、変調周波数の雑音の混入をできるだけ抑えて、みかけ距離変動の測定を行つたものがFig.4.3.1である。改造前の測定点は昨年度の結果である(研究資料No.193)。改造後は3mの近距離で30cm, 10mで10cmであり、この波高計の設計値である平均距離20mとすれば±10mの範囲で変動幅が10cmとなり、測定精度内におさまる。

SN比の改善によつてみかけ距離変動を減少させることができたが、同時に受信機の感度も向上させることができたので、電気回路の若干の改造を行なつて距離測定の検定試験を繰返した。3~37mの範囲で良好な直線性と、昨年度よりも良好な受信感度を得ることができた。

以上の結果、航海訓練所青雲丸に搭載した波浪計システムを軽量小形化し、測定精度を向上させた波浪計が

完成したと考えられる。残された問題は実船搭載後の安定性、信頼性の確認であろう。

4.4 レーザ波浪計

レーザ波浪計については昭和49年度において、水面反射光について実験を重ね、太陽からの直達光および天空光はいずれも雑音としては無視できることがわかつた。また、乱波浪面からの反射は受光感度には余裕があるが、反射条件が満足されるときだけ、すなわち、正規反射だけが受光されるので、パルス状の出力電圧を生じる。試作した波浪計の位相計ではこの電圧に追従しないので、応答のよい位相計が必要となつた。

今年度は、水面反射について実際におこると考えられる泡だつた水面よりの反射強度の測定を行なうとともに、応答のよい位相計を作製した。

4.4.1 気泡層よりの反射

泡は中性洗剤をまぜた水に細いノズルより気泡を吹き出して作つた。ノズルの直径を変えて、泡の直径を3.2~7.4mmの範囲で変化させた。反射は泡だたない水面（洗剤入り）の散乱光はもつとも小さく、泡の発生とともに、正規反射より散乱光に変化し、細かい泡ほど反射強度が増加する。測定結果の一例をFig. 4.4.1に示す。

白い紙の表面の散乱光および平水面よりの散乱光（正規反射の来ない角度で測定）を比較のレベルを矢印で示してある。気泡層の反射は紙の散乱光にくらべ小さいが、十分に測定可能である。

これまでに得られた水面反射強度についての結果をまとめると次のようになる。

泡だたない水面よりの反射は、幾何光学的な反射条件を満足する正規反射によるものが大部分を占める。波面には、通常極めて短波長の乱波面を含んでいるので、毎秒数個のパルス状の正規反射を受光できるため、常に波高の観測が可能である。

水面が泡だつと、反射光は散乱光のみとな

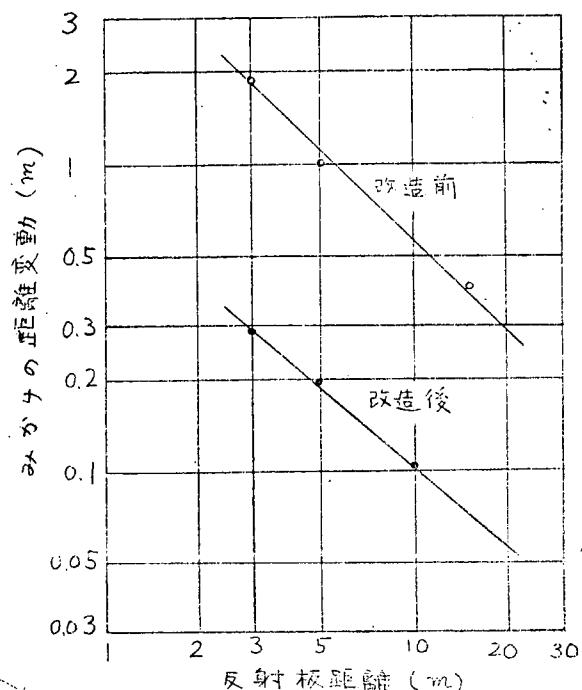


Fig. 4.3.1 反射板微少変位によるみかけ距離の変動

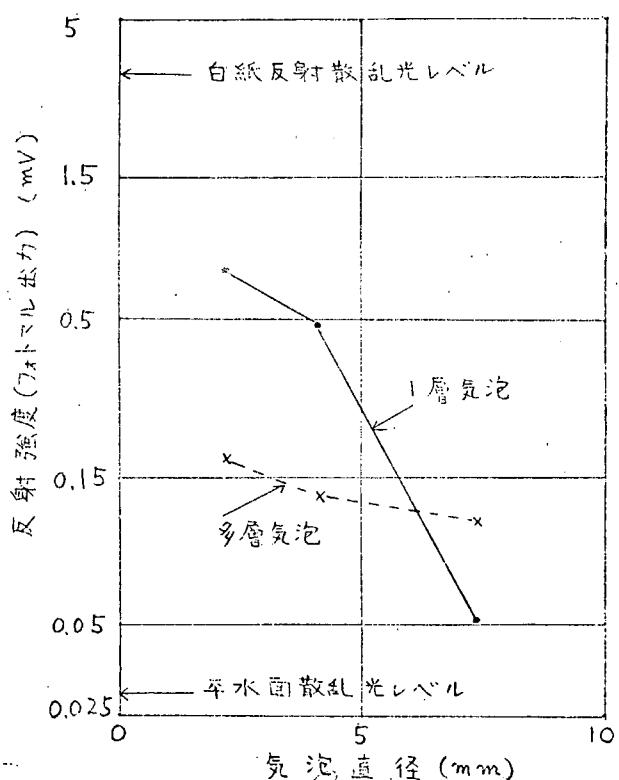


Fig. 4.4.1 気泡層の反射強度

フォトマル電圧 1000 V、負荷 50 Ω、距離 6.2 m

り激減する。平水面、乱波面、白紙、気泡層の反射強度の相対値を Table 4.4.1 に示す。

Table 4.4.1 面の種類による反射強度の比較
(距離 6.2 m)

反射面 基準	平水面 正規反射	乱波面 正規反射	白紙 散乱光	気泡層 散乱光	平水面 散乱光
平水面	1	$3 \sim 10 \times 10^{-3}$	1.5×10^{-3}	$2 \sim 30 \times 10^{-5}$	$1.2 \sim 10^{-5}$
白紙	670	2 ~ 6.7	1	0.013 ~ 0.2	0.008

いずれの場合でも現在の計測システムの受光感度で、距離測定が可能である。

4.4.2 位相計

距離測定に現在使用中のヘテロダイン形の位相計のかわりに、直接検波の平衡検波器による高速位相計をつくり実験を行なつた。9.0 m の距離にある散乱面と光源の中間 6.0 m の位置に、散乱面を持つ回転円板による機械的チョッパで、距離の切換を行ない、そのときの位相計の出力を観測した。今までの位相計の応答とともに Fig 4.4.2 に示す。(a)が従来のもの、(b)および(c)が試作したものとの応答である。(a)では時定数が 7.0 ms、(b)ではみかけ上 1.0 ms である。この時間おくれの一部は回転円板がレーザビームを切ることによる過渡現象によるものと思われる。レーザビームの輝度の大きい部分の直径は 9 mm で、チョッパの回転周期 5.3 ms より、ビーム切断時間は 0.43 ms となり、この位相計の真の時定数は 1.0 ms よりかなり小さい。したがつて、乱波面よりの反射パルスの計測には十分な性能を持つている。

4.4.3 むすび

以上の研究によつて、波浪のある水面よりのレーザ光の反射の様子がほぼ解明されるとともに、レーザ距離計による波高の観測の可能性と実用波浪計システムの仕様が得られたと考える。厳しい海洋環境に耐えるシステムの完成については、安定性、信頼性についての研究がさらに必要であろう。

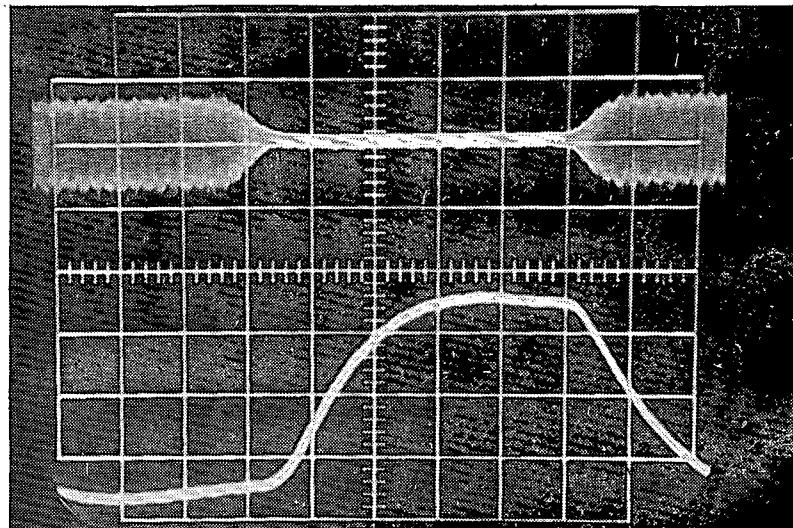


Fig 4.4.2 (a)
旧型位相計の応答

上：位相計入力
下：位相計出力
X軸： 50 ms/div

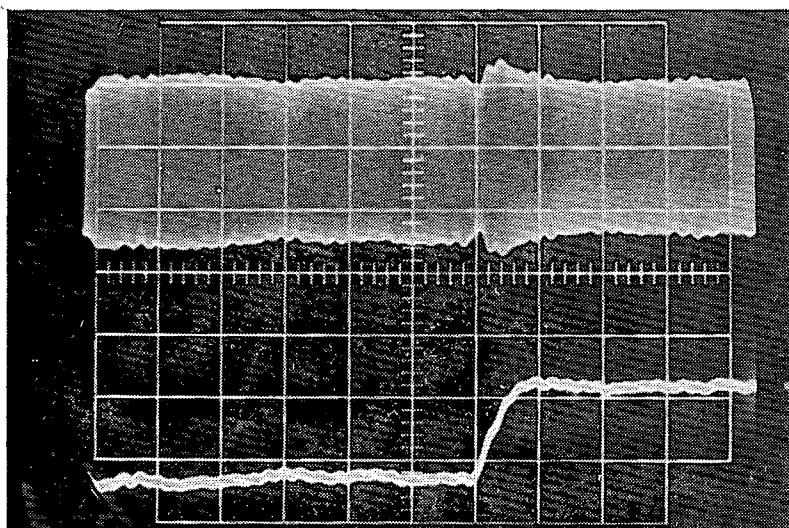


Fig 4.4.2 (b)
新型位相計の応答

上：位相計入力
下：位相計出力
X軸： 2 ms/div
Y軸： 2 m/div

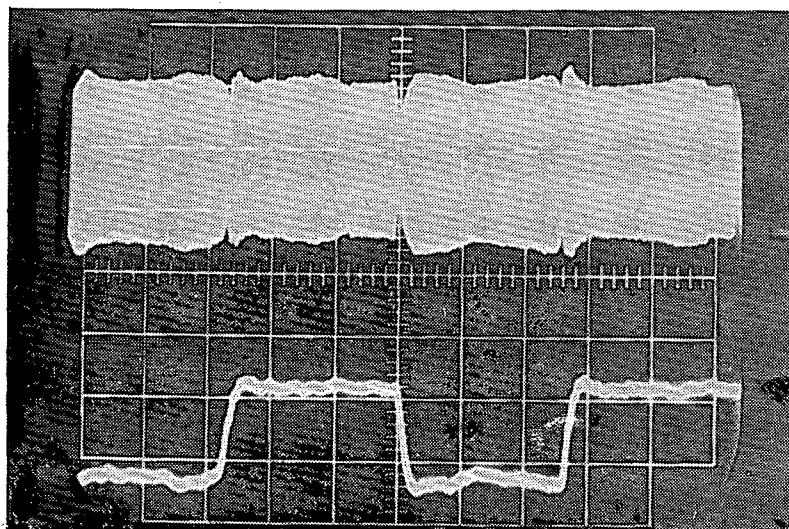


Fig 4.4.2 (c)
新型位相計の応答

上：位相計入力
下：位相計出力
X軸： 5 ms/div
Y軸： 2 m/div

5 実船計測による波浪情報

5.1 笠木山丸における波浪計測

5.1.1 まえがき

笠木山丸に搭載され、波浪計測に使用された波浪計は総数62個であり、その内33個は自動的に解析可能な紙テープデータの集録に成功した。この他に紙テープデータに手を加えれば、解析可能となり得るデータ5個、紙テープパンチャー不良のためアナログ記録だけ集録されたもの2個であつた。本部会の方針として自動解析可能なデータの蒐集を目標としているので、ここでは33個の成功（成功率53%）ということになる。

解析は、スペクトル解析、極値統計解析、アナログ記録の手解析が行なわれた。

5.1.2 波浪計測位置および気象状況

Fig. 5.1.1 に波浪計測の実施された位置を示す。図中の番号は航海番号および実験番号で、計測に成功したもののみ示してある。

Table 5.1.2 に計測時の位置および気象、海象を示す。ただし、表中の位置は本船の船位、気象、海象は、本船計器の読み取りによる値である。

5.1.3 解析

解析方法の詳細については本報告では省略する。

本船上において集録された紙テープデータは、各航海毎に編集の後 off-line 处理によつてスペクトル解析、統計解析が行なわれた。また、モニター用として同時記録されたアナログ記録（オシログラフ）は、手解析の方法によつて両振幅を用いた統計解析が行なわれた。

(1) スペクトル解析

スペクトル解析の方法として、相関法およびFFT法を試みた結果、FFT法によつて得られる波スペクトルに適当な平滑化を行なえば相関法による結果とよく一致するが、单入力の場合、スペクトルの平滑化、統計値の計算あるいは結果の印字等を考えると処理時間の短縮は極くわずかとなる。本報告の解析結果は相関法によるものを採用している。

解析の結果得られた波スペクトルは、深海波の仮定のもとにセンサーの深度に対する副波面の補正が施された。すなわち、波スペクトルは、

$$S(\omega) = \frac{1}{\left(1 - e^{-\frac{\omega^2}{gH}}\right)^2} S'(\omega) \quad (1)$$

で表わされる。ただし、 $S'(\omega)$ は補正前の波スペクトル、 $S(\omega)$ は補正された波スペクトル、 ω は素成波の円周波数であり、 H はセンサーの深度である。

統計値を求めるに當つて、極値が Rayleigh 分布すると仮定して有義波高 $H_{1/3}$ を、また、平均波周期は (+) 次のスペクトルモーメントのみならず、(-) 次のスペクトルモーメントをも用いて算出した。平均波周期の定義は

$$(1) T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (\text{Zero-cross})$$

$$(2) T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_1}}$$

$$(3) T_{0-2} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{-2}}{m_0}}$$

$$(4) T_{0-1} = 2\pi \left(\frac{m_{-1}}{m_0} \right)$$

$$(5) T_{1-1} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{-1}}{m_1}}$$

で表わされる。ただし、 m_n は、原点周りの n 次スペクトルモーメントである。

(2) 極値統計解析

紙テープデータとして得られた離散的な時系列を、3点を用いた2次曲線で近似して極値の値および数を計算する方法によつた。この場合には、時系列の並び方によつては極値およびその数に誤差が入るので注意が必要である。また、大きくドリフトするデータの処理には向きである。微小な変動に対する無効振幅の考慮はなされていない。

(3) アナログ記録の手解析

オシログラフの手解析によつて有義波高 H_m 、平均波周期 T_m を求めた。手解析を行なう場合、電算機による統計解析に比べて次のような利点がある。

1. 解析に必要なデータ長を十分に長くとれる。
2. わずかなドリフトに対しては、移動平均をとることによつてその影響を消すことができる。
3. データに混入したパルス状の雑音に対する考慮が可能である。
4. 平均線付近の微小な振幅に対しては無効振幅の考慮が可能である。

また欠点としては、

1. 波高が極めて低い場合には、読み取りの精度が低下する。
2. 片振幅の統計解析には向きである。

等が挙げられるが、2.の欠点については今の場合考えなくてよい。

このような利点にもとづいて、手解析によつて求めた値 H_m 、 T_m を他の解析法によつて求めた値の検討の基準とした。

Table 5.1.1 に解析方法の大略の比較を示す。

5.1.4 解析結果および検討

Table 5.1.2 に波浪計測時に本船上で観測された目視値および解析の結果得られた統計値を示す。表中の風向、波向は北を 0° として、時計回りにとつた角度 (deg) である。また、統計解析による有義波高および平均波周期のうち、括弧内の値はアナログ記録の手解析による値である。

Fig 5.1.2 に手解析による有義波高 H_m に対する目視波高 H_v (swell)、スペクトル解析による有義波高 $H_{1/3}$ および統計解析による有義波高 $H_{1/3}$ の値を示す。図より、目視波高 H_v (swell) は一般に H_m より低く、統計解析による $H_{1/3}$ は H_m より低いことが判る。紙テープデータの解析による値はバラツキも少なく、波浪計測値の信頼度はかなり高いものと判断できる。

Fig 5.1.3 に、手解析による Zero-cross 平均波周期 T_m に対する目視平均波周期 T_v (swell)、スペクトル解析による平均波周期 T_0 、 T_1 、 T_{0-1} 、 T_{0-2} および統計解析による平均波周期 T_0 の値を示す。図より T_v (swell) は、平均的には T_m に近い値となつてゐるがバラツキが大きい。また、Zero-cross 平均波周期 T_0 および T_1 は T_m に比べてかなり小さい値となつてゐる。一方、スペクトルの(-)次モーメントを用いて求めた T_{0-1} は T_m とかなり良い一致を示しておらず、特に T_{0-2} は非常によく一致しているといえる。このような結果は、計測によつて得られた波スペクトルの高次スペクトルモーメントを用いて平均波周期を計算する場合、スペクトルの高周波成分の信頼度の低いことが問題となることを示している。(-)次のスペクトルモーメントを用いることは Low pass filter

を通して解析を行なうこととなり、人間の目に Low pass filter の働きがあるといわれていることに定性的に一致している。

Fig 5. 1. 4 にスペクトル解析によつて得られた波スペクトルを示す。図に示される通り、波高、波周期の異なるものが重なつてゐるため個々のスペクトル形状が異なつてゐる。この波スペクトルを有義波高 $H_{\sqrt{3}}$ 、平均波周期 T_{0-2} を用いて正規化を行ない、Pierson-Moskowitz 型の波スペクトルに当てはめることを試みた。

Pierson-Moskowitz 型の波スペクトルは

$$S(\omega) = A \omega^{-5} \exp\{-B \omega^{-4}\}$$

で表わされ、この波スペクトルの原点周りの n 次モーメントは、

$$m_n = \int_0^\infty S(\omega) \omega^n d\omega = \frac{A}{4} \left[\Gamma\left(\frac{4-n}{4}\right) \right] / \left[\Gamma\left(\frac{4+n}{4}\right) \right]$$

で表わされる。平均波周期として T_{0-2} を用いる場合、(3)式において $n = 0, -2$ として A, B を決定すると

$$\begin{aligned} A &= 0.19635 H_{\sqrt{3}}^2 \omega_{0-2}^{-4} \\ B &= 0.78540 \omega_{0-2}^{-4} \end{aligned}$$

となり、スペクトル表示式は

$$S(\omega) = 0.19635 H_{\sqrt{3}}^2 \omega_{0-2}^{-1} (\omega/\omega_{0-2})^{-5} \exp\{-0.78540 (\omega/\omega_{0-2})^{-4}\} \quad (4)$$

となる。ただし、 $\omega_{0-2} = 2\pi/T_{0-2}$

Fig 5. 1. 5 に正規化された波スペクトルを示す。図中の実線は(4)式による Pierson-Moskowitz 型スペクトルを表わす。図には、双峰性の波スペクトル (1-6, 2-52, 2-58, 3-3, 3-6, 4-2) あるいは、帯域幅が広い場合 (1-7, 1-19, 1-20, 2-57) は除外してある。図によれば、西部太平洋における波浪は、概ね Pierson-Moskowitz 型の波スペクトルで表現できることが判る。ただし、ピーク付近におけるスペクトルの集中度は、Pierson-Moskowitz 型のものに比べて若干高いようである。

5. 1. 5 む す び

第1次～第5次波浪計測の結果、次のことが明らかとなつた。

- (1) スペクトル解析によつて有義波高を求める場合、極値の Rayleigh 分布の仮定は実用上妥当といえる。
- (2) スペクトル解析によつて平均波周期を求める場合

$$T_{0-2} = 2\pi \sqrt{m_{-2}/m_0}$$

の定義によるのが実際の波周期に近い。

- (3) 西部太平洋の波浪の波スペクトル形状は、Pierson-Moskowitz 型の表現で大体良好である。

今後の課題として、一般的な波浪の特性を求めるため、あるいは目視値と実測値の相関を求めるためにも、本部会で実施されたような波浪計測を続ける必要がある。

波浪計測に協力していただいた、三菱重工株式会社、大阪商船三井船舶株式会社の関係各位、笠木山丸の乗組員各位に御礼申し上げる。

Table 5.1.1 Method of analysis

	Spectral analysis		Statistical analysis	
	Correlation method	FFT method	by computer	by manual
Data format	Digital	Digital	Digital	Analogue
Measuring time T	10 min.	7 min.	10 min.	10 - 20 min.
Sampling interval ΔT	0.4 sec.	0.4 sec.	0.4 sec.	
Number of data	1500	1024		100 - 200
Max. No. of Lag	60 (150)			
Window	Q			
Limits of integration w_L	0.3	0.3		
w_U	4.5	4.5		
Invalid amplitude			± 0 cm	± 20 cm

Table 5.1.2 Analyzed results

(Team :)

Exp. No.	1-1	Date :	Dec. 16 1973
Time :	08-00	Area :	29°50'N 134°15'E
Weather :	C	Wind direction :	315°
Sea state :		Wind speed :	35 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.0
	Wave Period T_w (sec)	W	2
	Wave Length λ_w (m)	S	10
	Swell Height H_s (m)	W	4.0
	Swell Period T_s (sec)	E	8
	Swell Length λ_s (m)	S	100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		41
	Standard deviation σ		0.682
	Wave Height (mean) (m)		1.59
	" " (significant) (m)		2.69 (2.99)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.06 (7.09)
	" " (peak to peak) (sec)		2.87
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1090
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.734
	Wave Height (mean) (m)		1.84
	" " (Significant) (m)		2.94
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		3.74
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.56
	" " (peak to peak) (sec)		3.08
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		6.94
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		6.56
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.42	
Note			
The values in () are the statistical values obtained by manual analysis of analogue record.			

(Team :)

Exp. No.	1- 3	Date :	Dec. 16 1973
Time :	14-45	Area :	28°35'N 133°40'E
Weather :	bc	Wind direction :	325°
Sea state :		Wind speed :	24 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.0
	Wave Period T_w (sec)	S, W	3
	Wave Length λ_w (m)	W	15
	Swell Height H_s (m)	E	3.5
	Swell Period T_s (sec)	S	8
	Swell Length λ_s (m)		80
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		37
	Standard deviation σ		0.759
	Wave Height (mean) (m)		1.82
	" " (significant) (m)		2.95 (2.10)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		11.32 (7.41)
	" " (peak to peak) (sec)		2.53
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.262
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.556
	Wave Height (mean) (m)		1.39
	" " (Significant) (m)		2.23
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.83
	Wave Period(zero-cross) (sec)		4.94
	" " (peak to peak) (sec)		2.64
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		7.30
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		6.03
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.15	
Note			

(Team :)

Exp. No.	1- 4	Date :	Dec. 17 1973
Time :	14-10	Area :	20°00'N 133°00'E
Weather :	c	Wind direction :	355°
Sea state :		Wind speed :	16 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		0.5
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		15
	Swell Height H_s (m)		2.0
	Swell Period T_s (sec)		11
	Swell Length λ_s (m)		150
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	60	
	Standard deviation σ	0.431	
	Wave Height (mean) (m)	1.04	
	" " (significant) (m)	1.84 (2.19)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.25 (8.75)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.90	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.543	
	Wave Height (mean) (m)	1.36	
	" " (Significant) (m)	2.17	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.76	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.51	
	" " (peak to peak) (sec)	3.04	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	8.80	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	9.90	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.89		
Note			

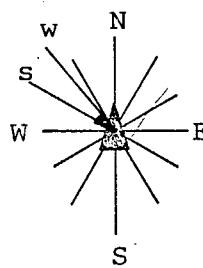
(Team :)

Exp. No.	1- 6	Date :	Dec. 18 1973
Time :	14-40	Area :	18°00'N 131°00'E
Weather :	r	Wind direction :	040
Sea state :		Wind speed :	38 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	2.0
	Wave Period T_w (sec)	W	4
	Wave Length λ_w (m)	S	20
	Swell Height H_s (m)	E	3 - 4
	Swell Period T_s (sec)		10
	Swell Length λ_s (m)	S	150
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		70
	Standard deviation σ		0.633
	Wave Height (mean) (m)		1.55
	" " (significant) (m)		2.61 (2.92)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.78 (8.08)
	" " (peak to peak) (sec)		3.26
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.791
	Wave Height (mean) (m)		1.98
	" " (Significant) (m)		3.17
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		4.03
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.61
	" " (peak to peak) (sec)		3.84
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		8.50
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		9.45
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		7.70	
Note			

(Team :)

Exp. No.	1- 7	Date :	Dec. 24 1973
Time :	13-30	Area :	14°00'S 120°30'E
Weather :	p	Wind direction :	280
Sea state :		Wind speed :	23 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_W (m)	N	0.3
	Wave Period T_W (sec)	W	1
	Wave Length λ_W (m)	W	1
	Swell Height H_S (m)	E	1.0
	Swell Period T_S (sec)	S	4
	Swell Length λ_S (m)	S	40
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	76	
	Standard deviation σ	0.218	
	Wave Height (mean) (m)	0.53	
	" " (significant) (m)	0.91 (1.10)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.97 (7.97)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.15	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.286	
	Wave Height (mean) (m)	0.72	
	" " (Significant) (m)	1.15	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	1.46	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.09	
	" " (peak to peak) (sec)	2.54	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	8.55	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	9.05	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.54	
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-10	Date :	Dec. 29 1973
Time :	13-08	Area :	15°30'S 120°00'E
Weather :	o	Wind direction :	320°
Sea state :		Wind speed :	2.3 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		2.0
	Wave Period T_w (sec)		5
	Wave Length λ_w (m)		40
	Swell Height H_s (m)		4.0
	Swell Period T_s (sec)		9
	Swell Length λ_s (m)		100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	60	
	Standard deviation σ	0.607	
	Wave Height (mean) (m)	1.50	
	" " (significant) (m)	2.51 (2.91)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.38 (8.15)	
	" " (peak to peak) (sec)	3.22	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.262	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.723	
	Wave Height (mean) (m)	1.81	
	" " (Significant) (m)	2.90	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	3.68	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.77	
	" " (peak to peak) (sec)	3.60	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	9.50	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	10.85	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	8.26		
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-12	Date :	Jan. 02 1974
Time :	13-40	Area :	04°00'N 128°00'E
Weather :	bc	Wind direction :	330°
Sea state :		Wind speed :	3 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_W (m)		0.1
	Wave Period T_W (sec)		1
	Wave Length λ_W (m)		0.3
	Swell Height H_s (m)		2.5/2
	Swell Period T_s (sec)		9/7
	Swell Length λ_s (m)		150/100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	62	
	Standard deviation σ	0.366	
	Wave Height (mean) (m)	0.90	
	" " (significant) (m)	1.53 (1.85)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	7.54 (9.82)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.62	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.495	
	Wave Height (mean) (m)	1.24	
	" " (Significant) (m)	1.98	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.52	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	7.78	
	" " (peak to peak) (sec)	3.73	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	9.05	
	" " ($2\pi m_1/m_0$) (sec)	11.70	
" " ($2\pi\sqrt{m_1/m_1}$) (sec)	8.58		
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-13	Date :	Jan. 04 1974
Time :	08-47	Area :	13°54'N 127°42'E
Weather :	C	Wind direction :	025°
Sea state :		Wind speed :	33 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		5.0
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		20
	Swell Height H_s (m)		7.0
	Swell Period T_s (sec)		8
	Swell Length λ_s (m)		100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	70	
	Standard deviation σ	0.640	
	Wave Height (mean) (m)	1.63	
	" " (significant) (m)	2.55 (3.52)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.28 (8.97)	
	" " (peak to peak) (sec)	3.25	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1618	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.850	
	Wave Height (mean) (m)	2.13	
	" " (Significant) (m)	3.40	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	4.33	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.46	
	" " (peak to peak) (sec)	3.84	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	8.36	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	9.04	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.53		
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-17	Date :	Jan. 05 1974
Time :	13-00	Area :	18°30'N 130°30'E
Weather :	bc	Wind direction :	040°
Sea state :		Wind speed :	34 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	2.5
	Wave Period T_w (sec)	s, w	5
	Wave Length λ_w (m)	E	70
	Swell Height H_s (m)		4.0
	Swell Period T_s (sec)		8
	Swell Length λ_s (m)		100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		38
	Standard deviation σ		0.751
	Wave Height (mean) (m)		1.77
	" " (significant) (m)		3.20 (3.21)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.19 (7.11)
	" " (peak to peak) (sec)		3.38
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.845
	Wave Height (mean) (m)		2.12
	" " (Significant) (m)		3.38
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		4.30
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.12
	" " (peak to peak) (sec)		3.96
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		7.42
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		7.46
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.84	
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-18	Date :	Jan. 06 1974
Time :	13-05	Area :	23°00'N 131°30'E
Weather :	bc	Wind direction :	010°
Sea state :		Wind speed :	24 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N S, W	1.5
	Wave Period T_w (sec)	E	4
	Wave Length λ_w (m)		50
	Swell Height H_s (m)		2.5
	Swell Period T_s (sec)		7
	Swell Length λ_s (m)	S	80
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		80
	Standard deviation σ		0.423
	Wave Height (mean) (m)		1.05
	" " (significant) (m)		1.70 (2.10)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.28, (6.91)
	" " (peak to peak) (sec)		2.86
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.503
	Wave Height (mean) (m)		1.26
	" " (Significant) (m)		2.02
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.56
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.23
	" " (peak to peak) (sec)		3.14
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		6.80
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		5.91
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.09	
Note			

(Team :)

Exp. No.	1-19	Date :	Jan. 07 1974
Time :	10-10	Area :	27°44'N 132°43'E
Weather :	bc	Wind direction :	000°
Sea state :		Wind speed :	12 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.5
	Wave Period T_w (sec)	W	3
	Wave Length λ_w (m)	S	30
	Swell Height H_s (m)	E	2.5
	Swell Period T_s (sec)		7
	Swell Length λ_s (m)	S	90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	83	
	Standard deviation σ	0.432	
	Wave Height (mean) (m)	1.10	
	" " (significant) (m)	1.70 (2.44)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.11 (8.69)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.14	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1459	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.554	
	Wave Height (mean) (m)	1.39	
	" " (Significant) (m)	2.22	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.82	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	4.82	
	" " (peak to peak) (sec)	2.42	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	8.36	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	7.02	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	6.64		
Note			

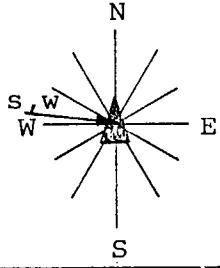
(Team :)

Exp. No.	1-20	Date :	Jan. 08 1974
Time :	09-40	Area :	32°44'N 134°06'E
Weather :	bc	Wind direction :	090°
Sea state :		Wind speed :	13 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.5
	Wave Period T_w (sec)	S	3
	Wave Length λ_w (m)	E	30
	Swell Height H_s (m)	W	2.5
	Swell Period T_s (sec)	w	8
	Swell Length λ_s (m)	S	120
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	76	
	Standard deviation σ	0.522	
	Wave Height (mean) (m)	1.28	
	" " (significant) (m)	2.16 (2.50)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.38 (8.38)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.07	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.594	
	Wave Height (mean) (m)	1.49	
	" " (Significant) (m)	2.38	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	3.03	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.18	
	" " (peak to peak) (sec)	2.52	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	8.63	
" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	7.89		
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.04		
Note			

(Team :)

Exp. No.	2- 5	Date :	Jan. 19 1974
Time :	10-00	Area :	14°08'N 130°18'E
Weather :	C	Wind direction :	055°
Sea state :		Wind speed :	22 kt
Wave meter :	pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		2.0
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		30
	Swell Height H_s (m)		3.5
	Swell Period T_s (sec)		8
	Swell Length λ_s (m)		80
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	79	
	Standard deviation σ	0.500	
	Wave Height (mean) (m)	1.191	
	" " (significant) (m)	2.08 (2.45)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.42 (7.35)	
	" " (peak to peak) (sec)	3.08	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.580	
	Wave Height (mean) (m)	1.45	
	" " (Significant) (m)	2.32	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.95	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.79	
	" " (peak to peak) (sec)	3.65	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	7.34	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	7.08	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	6.67	
Note			

(Team :)

Exp. No.	2-52	Date :	Feb. 17 1974
Time :	10-00	Area :	11°17'S 122°01'E
Weather :	bc	Wind direction :	280
Sea state :		Wind speed :	13 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		1.0
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		30
	Swell Height H_s (m)		2.5
	Swell Period T_s (sec)		8
	Swell Length λ_s (m)		90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	92	
	Standard deviation σ	0.233	
	Wave Height (mean) (m)	0.57	
	" " (significant) (m)	0.95 (1.09)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	4.44 (7.61)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.27	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.262	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.296	
	Wave Height (mean) (m)	0.74	
	" " (Significant) (m)	1.19	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	1.51	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	4.69	
	" " (peak to peak) (sec)	2.66	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	7.97	
	" " ($2\pi m_1/m_0$) (sec)	6.01	
" " ($2\pi\sqrt{m_1/m_0}$) (sec)	6.14		
Note			

(Team :)

Exp. No.	2-56	Date :	Feb. 21 1974
Time :	10-00	Area :	11°05'N 129°30'E
Weather :	bc	Wind direction :	065°
Sea state :		Wind speed :	18 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	2.0
	Wave Period T_w (sec)	s, w	. 3
	Wave Length λ_w (m)	E	30
	Swell Height H_s (m)		4.5
	Swell Period T_s (sec)	S	8
	Swell Length λ_s (m)		90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		50
	Standard deviation σ		0.421
	Wave Height (mean) (m)		1.05
	" " (significant) (m)		1.67 (2.03)
	Wave Period (zero-cross) (sec)		5.47 (6.90)
	" " (peak to peak) (sec)		2.69
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1130
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.536
	Wave Height (mean) (m)		1.34
	" " (Significant) (m)		2.15
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.73
	Wave Period (zero-cross) (sec)		4.98
	" " (peak to peak) (sec)		2.72
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		7.32
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		6.21
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.24	
Note			

(Team :)

Exp. No.	2-57	Date :	Feb. 22 1974
Time :	10-00	Area :	16°33'N 130°23'E
Weather :	bc	Wind direction :	0°0°
Sea state :		Wind speed :	19 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		1.5
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		30
	Swell Height H_s (m)		3.5
	Swell Period T_s (sec)		8
	Swell Length λ_s (m)		80
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	89	
	Standard deviation σ	0.379	
	Wave Height (mean) (m)	0.92	
	" " (significant) (m)	1.56 (1.86)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.33 (7.48)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.73	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.440	
	Wave Height (mean) (m)	1.10	
	" " (Significant) (m)	1.76	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.24	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.25	
	" " (peak to peak) (sec)	3.01	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	7.17	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	6.22	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	6.25		
Note			

(Team :)

Exp. No.	2-58	Date :	Feb. 23 1974
Time :	10-00	Area :	22°07'N 131°46'E
Weather :	O	Wind direction :	160°
Sea state :		Wind speed :	20 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.5
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)	E	30
	Swell Height H_s (m)		3.0
	Swell Period T_s (sec)	S	9
	Swell Length λ_s (m)	s, w	90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		73
	Standard deviation σ		0.374
	Wave Height (mean) (m)		0.95
	" " (significant) (m)		1.51 (1.88)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		4.75 (8.36)
	" " (peak to peak) (sec)		2.41
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1491
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.262
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.450
	Wave Height (mean) (m)		1.13
	" " (Significant) (m)		1.80
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.29
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.25
	" " (peak to peak) (sec)		2.97
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		8.38
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		7.17
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.71	
Note			

(Team :)

Exp. No.	3- 3	Date :	Mar. 25 1974
Time :	14-00	Area :	5°23'N 128°07'E
Weather :	bc	Wind direction :	049°
Sea state :		Wind speed :	17 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	0.5
	Wave Period T_w (sec)	S, W	2
	Wave Length λ_w (m)	E	5
	Swell Height H_s (m)		2.0
	Swell Period T_s (sec)		5
	Swell Length λ_s (m)	S	70
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		81
	Standard deviation σ		0.187
	Wave Height (mean) (m)		0.47
	" " (significant) (m)		0.75 (0.98)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.22 (9.30)
	" " (peak to peak) (sec)		1.85
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.262
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.267
	Wave Height (mean) (m)		0.67
	" " (Significant) (m)		1.07
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		1.36
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.91
	" " (peak to peak) (sec)		2.95
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		9.67
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		9.67
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		7.79	
Note			

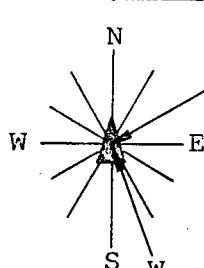
(Team :)

Exp. No.	3- 4	Date :	Mar. 26 1974
Time :	13-20	Area :	11°10'N 129°18'E
Weather :	o	Wind direction :	075°
Sea state :		Wind speed :	8 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_W (m)	N	0.5
	Wave Period T_W (sec)	S	2
	Wave Length λ_W (m)	W	5
	Swell Height H_S (m)	E	2.0
	Swell Period T_S (sec)		4
	Swell Length λ_S (m)	S	50
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	49	
	Standard deviation σ	0.357	
	Wave Height (mean) (m)	0.89	
	" " (significant) (m)	1.44 (1.77)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.71 (7.48)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.46	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.262	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.467	
	Wave Height (mean) (m)	1.17	
	" " (Significant) (m)	1.87	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.38	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.59	
	" " (peak to peak) (sec)	3.07	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	8.42	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_0}$) (sec)	7.81	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.00		
Note			

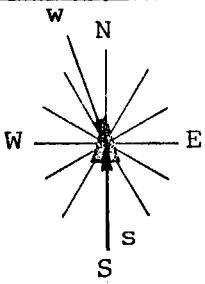
(Team :)

Exp. No.	3- 5	Date :	Mar. 28 1974
Time :	13-30	Area :	22°32'N 131°49'E
Weather :	o	Wind direction :	030°
Sea state :		Wind speed :	11 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		0.8
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		10
	Swell Height H_s (m)		3.5
	Swell Period T_s (sec)		7
	Swell Length λ_s (m)		130
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	60	
	Standard deviation σ	0.437	
	Wave Height (mean) (m)	1.08	
	" " (significant) (m)	1.76 (2.34)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.29 (8.30)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.67	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.573	
	Wave Height (mean) (m)	1.44	
	" " (Significant) (m)	2.30	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.92	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.52	
	" " (peak to peak) (sec)	3.44	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	8.19	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	9.04	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.54		
Note			

(Team :)

Exp. No.	3- 6	Date :	Mar. 30 1974
Time :	10-30	Area :	32°59'N 134°36'E
Weather :	o	Wind direction :	197°
Sea state :		Wind speed :	17 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		1.0
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)		10
	Swell Height H_s (m)		2.0
	Swell Period T_s (sec)		9
	Swell Length λ_s (m)		120
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	71	
	Standard deviation σ	0.313	
	Wave Height (mean) (m)	0.78	
	" " (significant) (m)	1.26 (1.49)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.65 (8.10)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.29	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.262	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.418	
	Wave Height (mean) (m)	1.05	
	" " (Significant) (m)	1.67	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.13	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.78	
	" " (peak to peak) (sec)	2.75	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	10.81	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	11.07	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	8.34	
Note			

(Team :)

Exp. No.	4- 2	Date :	Aug. 26 1974
Time :	07-00	Area :	32°04'N 132°30'E
Weather :	C	Wind direction :	345°
Sea state :		Wind speed :	31 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		2.0
	Wave Period T_w (sec)		5
	Wave Length λ_w (m)		30
	Swell Height H_s (m)		2.7
	Swell Period T_s (sec)		9
	Swell Length λ_s (m)		150
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	68	
	Standard deviation σ	0.538	
	Wave Height (mean) (m)	1.31	
	" " (significant) (m)	2.23 (2.55)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.69 (7.10)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.99	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1579	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.603	
	Wave Height (mean) (m)	1.51	
	" " (Significant) (m)	2.42	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	3.07	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.76	
	" " (peak to peak) (sec)	3.76	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)	7.33	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	6.92	
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	6.59		
Note			

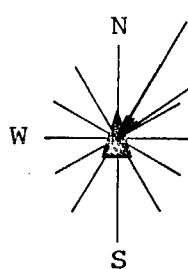
(Team :)

Exp. No.	4- 5	Date :	Aug. 27 1974
Time :	18-00	Area :	23°43'N 130°41'E
Weather :	C	Wind direction :	242°
Sea state :		Wind speed :	21 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		1.3
	Wave Period T_w (sec)		4
	Wave Length λ_w (m)		15
	Swell Height H_s (m)		2.0
	Swell Period T_s (sec)		6
	Swell Length λ_s (m)		70
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	72	
	Standard deviation σ	0.516	
	Wave Height (mean) (m)	1.25	
	" " (significant) (m)	2.13 (2.33)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	4.92 (6.32)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.66	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data .	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.578	
	Wave Height (mean) (m)	1.45	
	" " (Significant) (m)	2.32	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	2.94	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.06	
	" " (peak to peak) (sec)	3.09	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	6.41	
	" " ($2\pi m_1/m_0$) (sec)	5.41	
" " ($2\pi\sqrt{m_1/m_1}$) (sec)	5.83		
Note			

(Team :)

Exp. No.	4-10	Date :	Sep. 15 1974
Time :	14-00	Area :	14°12'S 120°20'E
Weather :	b	Wind direction :	190°
Sea state :		Wind speed :	11 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	0.2
	Wave Period T_w (sec)	S	1
	Wave Length λ_w (m)	W	1
	Swell Height H_s (m)	W	0.5
	Swell Period T_s (sec)	E	9
	Swell Length λ_s (m)	S	90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		95
	Standard deviation σ		0.180
	Wave Height (mean) (m)		0.44
	" " (significant) (m)		0.75 (0.96)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		4.86 (8.97)
	" " (peak to peak) (sec)		1.75
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.220
	Wave Height (mean) (m)		0.55
	" " (Significant) (m)		0.88
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		1.12
	Wave Period(zero-cross) (sec)		4.69
	" " (peak to peak) (sec)		1.93
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		8.62
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		7.38
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.81	
Note			

(Team :)

Exp. No.	4-12	Date :	Sep. 19 1974
Time :	14-00	Area :	6°05'N 128°12'E
Weather :	bc	Wind direction :	050°
Sea state :		Wind speed :	4 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)		0.3
	Wave Period T_w (sec)		1
	Wave Length λ_w (m)		1
	Swell Height H_s (m)		1.0
	Swell Period T_s (sec)		13
	Swell Length λ_s (m)		180
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	81	
	Standard deviation σ	0.279	
	Wave Height (mean) (m)	0.38	
	" " (significant) (m)	0.62 (0.76)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	6.28 (9.59)	
	" " (peak to peak) (sec)	1.75	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.206	
	Wave Height (mean) (m)	0.52	
	" " (Significant) (m)	0.83	
	" " ($1/\omega$ High. mean) (m)	1.05	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.46	
	" " (peak to peak) (sec)	2.07	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	9.32	
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)	9.74	
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)	7.82	
Note			

(Team :)

Exp. No.	4-13	Date :	Sep. 22 1974
Time :	13-30	Area :	21°27'N 131°47'E
Weather :	bc	Wind direction :	060°
Sea state :		Wind speed :	18 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	1.3
	Wave Period T_w (sec)		3
	Wave Length λ_w (m)	E	6
	Swell Height H_s (m)		2.0
	Swell Period T_s (sec)		6
	Swell Length λ_s (m)	S S W	80
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data	91	
	Standard deviation σ	0.280	
	Wave Height (mean) (m)	0.68	
	" " (significant) (m)	1.17 (1.33)	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.71 (6.99)	
	" " (peak to peak) (sec)	2.55	
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)	0.4	
	No. of Data	1500	
	Max. No. of Lag	60	
	Window	Q	
	Lower Limit of Integral ω_L	0.393	
	Higher Limit of Integral ω_H	4.581	
	Standard deviation σ	0.333	
	Wave Height (mean) (m)	0.83	
	" " (Significant) (m)	1.33	
	" " ($1/10$ High. mean) (m)	1.70	
	Wave Period(zero-cross) (sec)	5.13	
	" " (peak to peak) (sec)	3.08	
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)	6.70	
	" " ($2\pi m_1/m_0$) (sec)	5.75	
" " ($2\pi\sqrt{m_1/m_0}$) (sec)	6.01		
Note			

(Team :)

Exp. No.	4-15	Date :	Sep. 23 1974
Time :	14-00	Area :	27°04'N 133°13'E
Weather :	bc	Wind direction :	060°
Sea state :		Wind speed :	4 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_W (m)	N	0.4
	Wave Period T_W (sec)	s, w	2
	Wave Length λ_W (m)	E	1.5
	Swell Height H_S (m)		2.5
	Swell Period T_S (sec)	S	7
	Swell Length λ_S (m)		100
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		64
	Standard deviation σ		0.397
	Wave Height (mean) (m)		0.95
	" " (significant) (m)		1.62 (2.05)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		6.97 (8.73)
	" " (peak to peak) (sec)		2.46
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.514
	Wave Height (mean) (m)		1.29
	" " (Significant) (m)		2.06
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.62
	Wave Period(zero-cross) (sec)		7.21
	" " (peak to peak) (sec)		3.38
	" " ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec)		9.05
	" " ($2\pi m_1/m_0$) (sec)		11.23
	" " ($2\pi\sqrt{m_1/m_0}$) (sec)		8.40
Note			

(Team :)

Exp. No.	4-16	Date :	Sep. 24 1974
Time :	14-30	Area :	32°23'N 134°29'E
Weather :	C	Wind direction :	060°
Sea state :		Wind speed :	13 kt
Wave meter :	Pressure	Depth of sensor :	50 m
Condition :	Free		
VISUAL OBSERVATION	Wave Height H_w (m)	N	0.6
	Wave Period T_w (sec)	S, W	2
	Wave Length λ_w (m)	E	2
	Swell Height H_s (m)		2.3
	Swell Period T_s (sec)		7
	Swell Length λ_s (m)	S	90
STATISTICAL ANALYSIS	No. of Data		73
	Standard deviation σ		0.389
	Wave Height (mean) (m)		0.95
	" " (significant) (m)		1.59 (1.81)
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.43 (8.07)
	" " (peak to peak) (sec)		2.15
SPECTRAL ANALYSIS	Sampling Time ΔT (sec)		0.4
	No. of Data		1500
	Max. No. of Lag		60
	Window		Q
	Lower Limit of Integral ω_L		0.393
	Higher Limit of Integral ω_H		4.581
	Standard deviation σ		0.437
	Wave Height (mean) (m)		1.10
	" " (Significant) (m)		1.75
	" " ($1/10$ High. mean) (m)		2.23
	Wave Period(zero-cross) (sec)		5.30
	" " (peak to peak) (sec)		2.56
	" " ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec)		7.97
	" " ($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec)		7.44
" " ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec)		6.84	
Note			

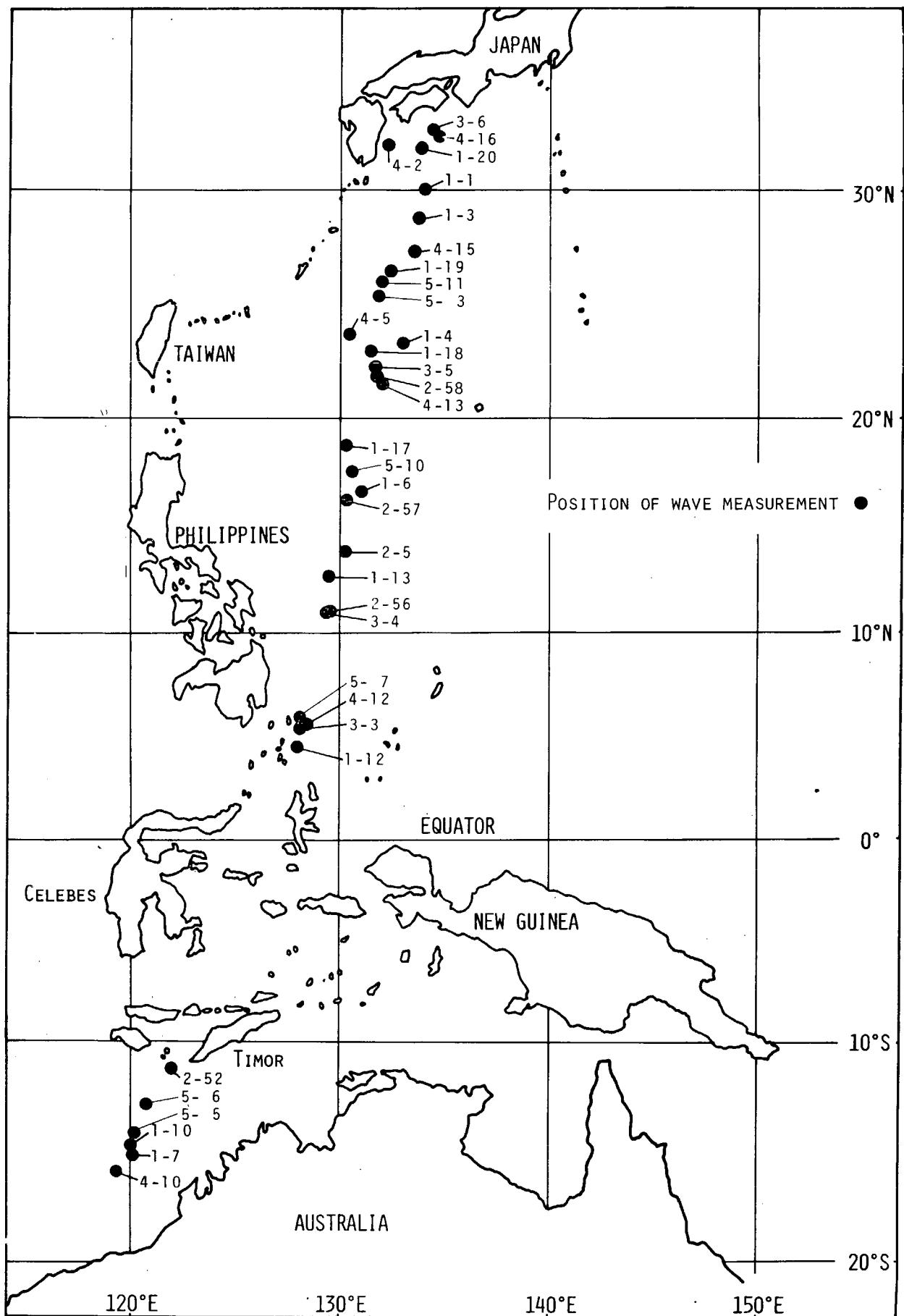


Fig. 5. 1. 1 Positions of wave measurement

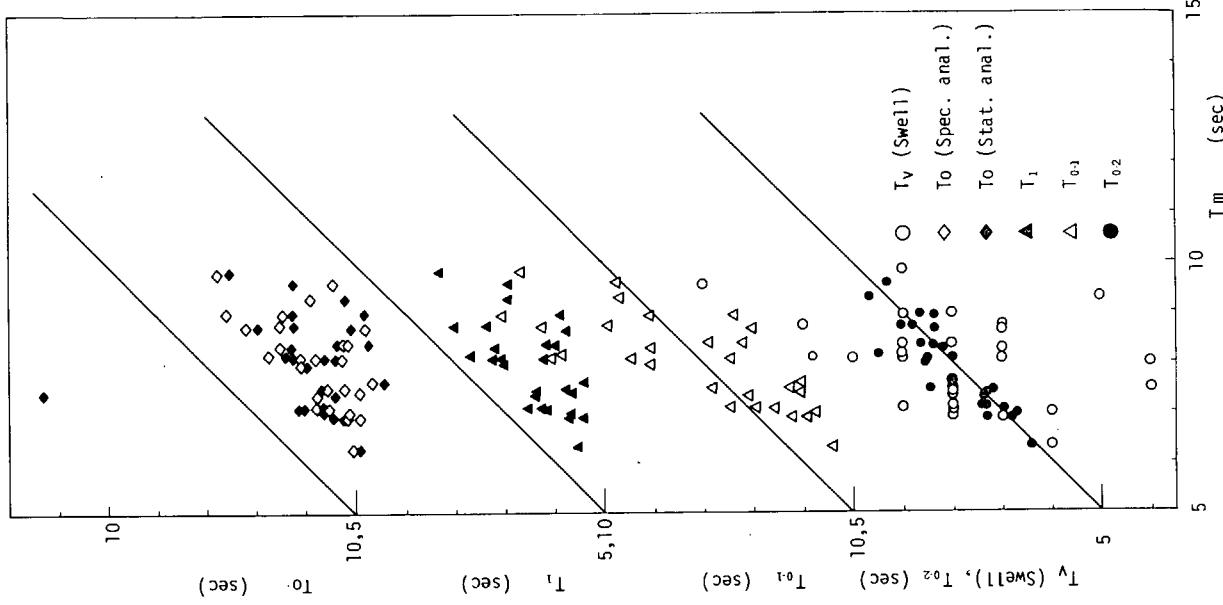


Fig. 5.1.3 Comparison of measured and observed wave height

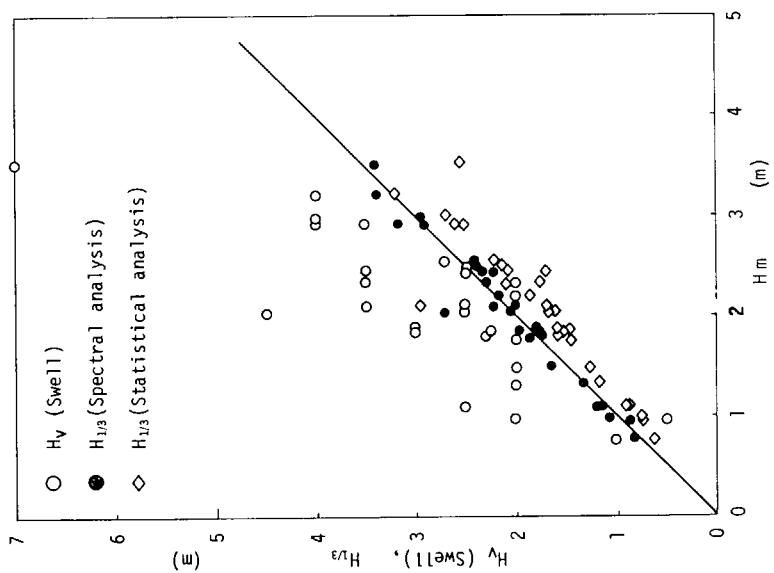


Fig. 5.1.2 Comparison of measured and observed wave period

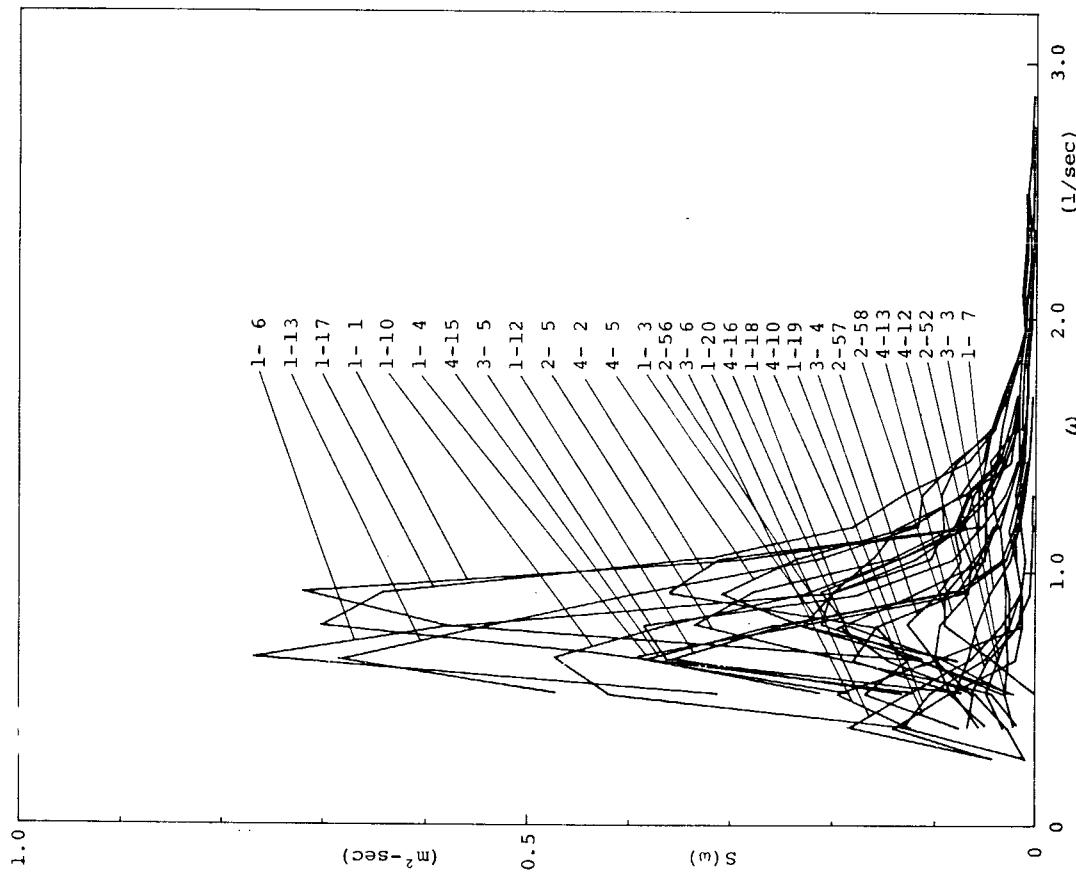


Fig 5.1.4 Estimated wave spectra

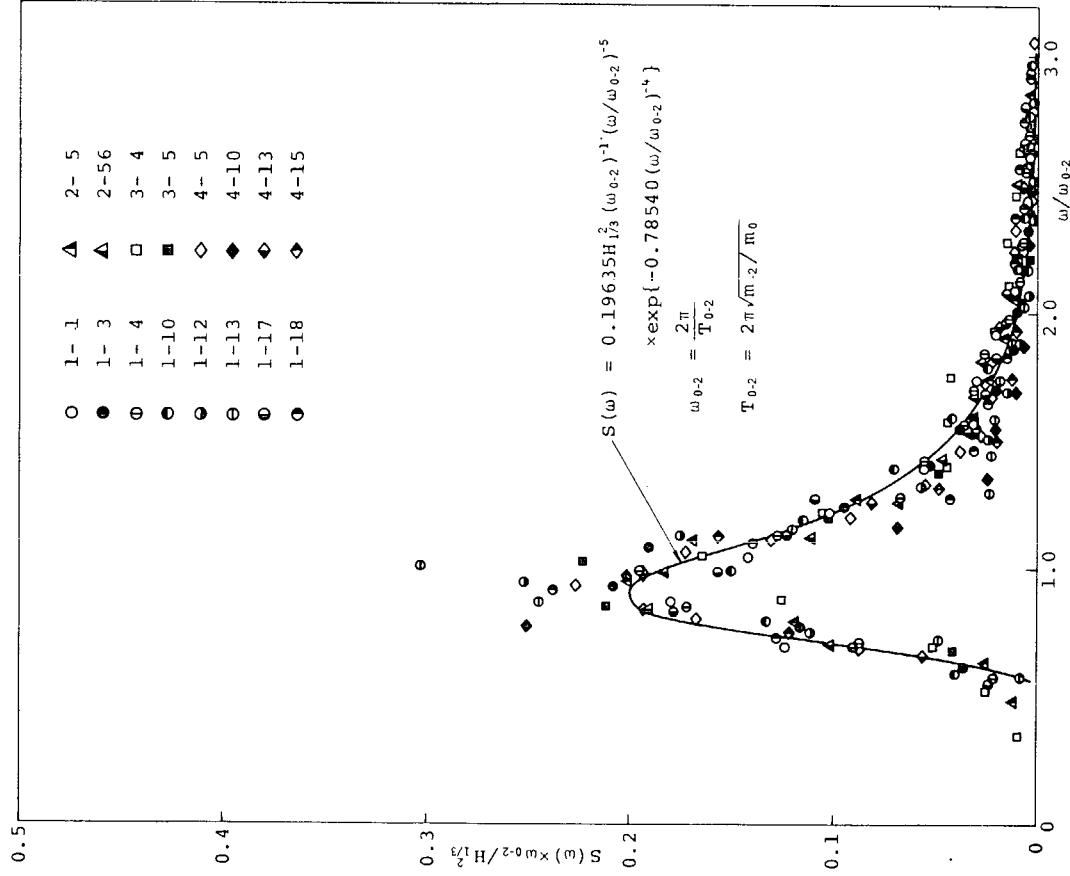


Fig 5.1.5 Normalized wave spectra

5.2 コンテナ船における波浪計測

5.2.1 HT号とNJ丸による波浪計測

昭和48年12月から昭和49年3月にかけてPNW航路（日本一米国北部西海岸）とNY航路（日本一パナマ一ニューヨーク）に就航しているコンテナ船の耐航性に関する実船試験が行なわれ、同時に波浪計による波浪計測が行なわれた。以下に波浪計測結果について報告する。波浪計測海域をFig. 5.2.1に、波浪計測時の気象、海象、位置、目視観測値をTable 5.2.1に示す。

5.2.2 解析結果

波浪記録の解析には、初期ドリフト（水圧検出部が水面下50mに到達して落着くまで）の時間（約5分）と投棄された波浪計と本船との距離が離れて電界強度の下降に伴つてノイズが混入した後の時間とを除いた残りの中間の記録を用いた。HT号による記録については6ケース、NJ丸については8ケースに対して各々統計解析とスペクトル解析をほどこした。解析法は[5.1]節に準じている。^{*2, *3} 解析結果をTable 5.2.2～15に示す。またコレログラムとスペクトルをFig. 5.2.4～17に示す。目視観測値、解析値等を波高と周期に分けて波高についてはTable 5.2.16に示し、周期についてはTable 5.2.18に示す。

(1) 波高について

目視波高H_VはHT号に関しては全て計測員による観測値である。スペクトル解析においては波による水粒子のOrbital Motionによる圧力変動を考慮して水圧検出部の没水深度と周波数に応じて深度修正を施した。

ウインドウをかけてSmoothingしたスペクトルS(ω)smoothedに対して、

$$S(\omega)_{\text{corrected}} = S(\omega)_{\text{smoothed}} / \left(1 - e^{-\frac{\omega^2}{g} \cdot h}\right)^2$$

によって修正スペクトルS(ω)correctedを計算した。ただし、hは水圧検出部の没水深度である。以下においてS(ω)correctedをS(ω)と記すこととする。

統計解析においても例えれば波高値H_{1/3}''に対しても次なる修正をほどこした。

$$H_{1/3}' = H_{1/3}'' / \left(1 - e^{-\frac{\omega^2}{g} \cdot h}\right)$$

ただし $\omega = 2\pi/T$ のTとしてはZero-Crossing平均周期T₀を使用した。

Cartwrightにより求められた波高値についての関係式^{*2 a}

$$\begin{cases} \text{Tucker式波浪計による } H_{1/3} : H_s = (1.23 + 0.88 H_w) \text{ m} \\ \text{専門観測員による目視波高 : } H_w = (1.5 + 0.75 H_v) \text{ m} \\ \text{一般乗員による目視波高 : } H_v \text{ m} \end{cases}$$

を用いてH_VからH_Sを求めTable 5.2.16に示した。統計解析による波高H_{1/3}'を基準にした波高比をTable 5.2.17に示す。

(2) 波周期について

目視周期T_V、統計解析によるZero-Crossing平均周期T₀、Peak to Peak平均周期およびスペクトル解析によるZero-Crossing平均周期T₀、T₁、T₀₋₂、T₀₋₁、Peak to Peak平均周期T_PをTable 5.2.18に示した。その他に目視波長λ_Vを深海波での波長と周期の関係式 $\lambda = g T^2 / 2\pi$ およびPiersonによる見掛けの波長λと周期T₁の関係式 $\bar{\lambda} = (\lambda/3) \cdot (g T_1^2 / 2\pi)^{1/2}$ を用いて求めたT₁をTable 5.2.18に示す。またCartwrightの関係式 $T_V = 0.052 T_A^{2.42} \text{ sec}^{2a}$ を用いて求めたものをTable 5.2.18に示す。Table 5.2.18に示した値を統計解析によるT₀と比較してTable 5.2.19に示し、同様にしてT_Pとの比をTable 5.2.20に示す。

(3) 無次元スペクトルについて *3.*4

スペクトル解析で求めた T_0 , T_1 , T_{0-2} , T_{0-1} の各平均周期と有義波高 $H_{1/3}$ を用いて各スペクトルおよび Pierson-Moskowitz 型のスペクトルを無次元化し各平均周期別、航路別に以下のグラフに示す。H T 号に対する T_0 による無次元化スペクトルを Fig 5-2-18 に、 T_1 によるものを Fig 5-2-19 に、 T_{0-2} によるものを Fig 5-2-20 に、 T_{0-1} によるものを Fig 5-2-21 に示し、 NJ 丸に対しては T_0 , T_1 , T_{0-2} , T_{0-1} によるものをそれぞれ Fig 5-2-22, 23, 24, 25 に示す。

5.2.3 むすび

[5.2] 節においては統計解析にあたつて手解析は施していない。

無次元スペクトルの形状が[5.1] 節の結果にくらべて Pierson-Moskowitz 型スペクトル型からの散らばりが大きいように見えるが、これは双峰性のスペクトルも帶域幅が広いスペクトルも含んでいるからである。しかしこれらを除外したとしても北太平洋における波浪は Pierson-Moskowitz 型スペクトルに比べてピークの集中度が高いようである。

*1 SR125 研究部会研究資料 №188

*2 a 山内保文 II 海洋波中の応答、耐航性に関するシンポジウム、日本造船学会、昭和44年7月

b SR125 研究部会研究資料 №157

*3 スペクトル解析の記号の定義

時系列	$x(t)$
自己相関関数	$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t+\tau) \cdot x(t) dt$
スペクトル	$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau$
Pierson-Moskowitz 型スペクトル	
分散	$\sigma^2 = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} S'(\omega) d\omega = m_0$
n次のモーメント	$m_n = 2 \int_0^{\infty} \omega^n \cdot S(\omega) d\omega = \int_0^{\infty} \omega^n \cdot S'(\omega) d\omega$
平均波高	$H_{mean} = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma$
有義波高	$H_{1/3} = 1.598 \cdot H_{mean} \approx 4 \sqrt{m_0}$
最大平均波高	$H_{1/3} = 2.032 \cdot H_{mean}$
Zero Crossing 平均周期	$T_0 = 2\pi \sqrt{m_0/m_2}$
	$T_{0-2} = 2\pi \sqrt{m_{-2}/m_0}$
	$T_1 = 2\pi (m_0/m_1)$
	$T_{0-1} = 2\pi (m_{-1}/m_0)$
Peak to Peak 平均周期	$T_p = 2\pi \sqrt{m_2/m_4}$

*4 Pierson-Moskowitz 型スペクトル

一般式: $S'(\omega) = A \omega^{-5} \exp \{-B \omega^4\}$

1) $T_0 = 2\pi \sqrt{m_0/m_2}$, $\omega = 2\pi/T_0$ を用いたスペクトル

$$A = \frac{1}{4\pi} \cdot (H_{1/3})^2 \omega_0^4, \quad B = \frac{1}{\pi} \omega_0^4$$

$$S'(\omega) = 0.0796 (H_{1/3})^2 \omega_0^{-1} (\omega/\omega_0)^{-5} \exp \{-0.3183 (\omega/\omega_0)^{-4}\}$$

2) $T_{0-2} = 2\pi \sqrt{m_{-2}/m_0}$, $\omega_{0-2} = 2\pi/T_{0-2}$ を用いたスペクトル

$$A = \frac{\pi}{16} (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_{0-2}^4, \quad B = \frac{\pi}{4} \omega_{0-2}^4$$

$$S'(\omega) = 0.1964 (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_{0-2}^{-1} (\omega/\omega_{0-2})^{-5} \exp\{-0.7856 (\omega/\omega_{0-2})^{-4}\}$$

3) $T_1 = 2\pi (m_0/m_1)$, $\omega_1 = 2\pi/T_1$ を用いたスペクトル

$$A = 0.1109 (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_1^4, \quad B = 0.4435 \omega_1^4$$

$$S'(\omega) = 0.1109 (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_1^{-1} (\omega/\omega_1)^{-5} \exp\{-0.4435 (\omega/\omega_1)^{-4}\}$$

4) $T_{0-1} = 2\pi (m_{-1}/m_0)$, $\omega_{0-1} = 2\pi/T_{0-1}$ を用いたスペクトル

$$A = 0.1688 (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_{0-1}^4, \quad B = 0.6750 \omega_{0-1}^4$$

$$S'(\omega) = 0.1688 (H_{\frac{1}{3}})^2 \omega_{0-1}^{-1} (\omega/\omega_{0-1})^{-5} \exp\{-0.6750 (\omega/\omega_{0-1})^{-4}\}$$

Table 5.2.1

Exp. No.	Date & Hour	Position Long. Lat.	Temperature		Barom. (mb) Weather	Wind		Swell		Wave		Ship Direc.
			Air	Sea		Direc.	Speed	Hv	Tv	Hv	Tv	
HT-11	19A Dec. 1973 12:40	E170°04' N 40°15'	10.0	13.5	1011 bc	315°	kts 22	m 2	s 9	m -	s -	80°
HT-15	19B Dec. 1973 12:30	W178°42' N 41°18'	9.0	11.0	1005 c	280°	50	6	-	2	-	80°
HT-27	22 Dec. 1973 12:50	W146°51' N 46°29'	9.0	7.0	1002.5 o	240°	26	4	14	2	-	80°
HT-57	9 Jan. 1974 16:00	E171°07' N 43°03'	6.0	7.0	1000.5 b	40°	11	2	7	-	-	252°
HT-67	11 Jan. 1974 16:20	E150°59' N 37°58'	6.0	11.5	994.0 c	330°	19.5	-	-	3	-	252°
HT-68	12 Jan. 1974 8:30	E144°19' N 36°05'	8.5	17.0	1006.5 c	295°	8	-	-	2	6	252°
NJ- 9	13 Feb. 1974 14:00	E151°41' N 35°39'	9.5	14.5	1015 c	315°	17	4	8.6	2	-	85°
NJ-15	14 Feb. 1974 13:55	E162°59' N 36°28'	11.0	15.0	1000.5 c	275°	36	5	-	3	-	85°
NJ-22	15 Feb. 1974 13:30	E174°15' N 37°04'	11.0	15.0	993.7 c	290°	33	6	8	3.5	-	85°
NJ-40	17 Feb. 1974 13:10	W150°59' N 36°59'	13.0	13.5	1016.5 r	315°	23	3	16	2.5	-	98°
NJ-72	23 Feb. 1974 8:42	W 95°23' N 14°23'	21.5	23.0	1012 bc	0°	28	3	-	2	-	118°
NJ-96	1 Mar. 1974 13:29	W 75°00' N 33°00'	-	-	-	-	-	5	8	-	-	-
NJ-174	22 Mar. 1974 16:05	W156°00' N 22°30'	25	25	1006.5 b	225°	28	-	-	2.5	-	268°
NJ-179	23 Mar. 1974 13:15	W164°33' N 22°15'	23.5	26	1015 bc	340°	22	7	13	-	-	280°

Table 5.2.2

EXP. NO.	HT-11	
Date	19A DEC. '73	
Hour	12:40	
Location	E170°04' N 40°15'	
Weather	bc	
Sea state		
Barometer	1011 mb	
Temp. Air	10 °C	Sea 13.5 °C
Wind Direc.	NW	
Wind Speed	11.5 m/s	
Ship direction	80°	
Ship speed	21 kts	
Wave meter	Pressure	
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition Free
		Swell Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	300°
	Encounter Angle (deg.)	P-140°
	Height (m)	2
	Period (sec.)	9
	Length (m)	90
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec) 0.8
		Statistical Analysis Spectral Analysis
No. of Data		92 1024
Standard Deviation		1.19 1.35
Wave Height (Mean Value) (m)		2.68 3.37
(significant) (m)		4.23 5.39
(1/10 Highest Mean) (m)		5.27 6.85
Wave Period (Zero Cross) (sec.)		8.07 7.86
(Peak to Peak) (sec.)		5.42 4.38
No. of Lag		102
Window		0
Modification		Corrected
Lower Limit of Integral (rad/sec.)		0.31416
Upper Limit of Integral (rad/sec.)		3.14160
Band Parameter		0.83
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) (sec.)		10.42
($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec.)		9.99
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec.)		9.35
($2\pi m_0/m_1$) (sec.)		8.76
Note		

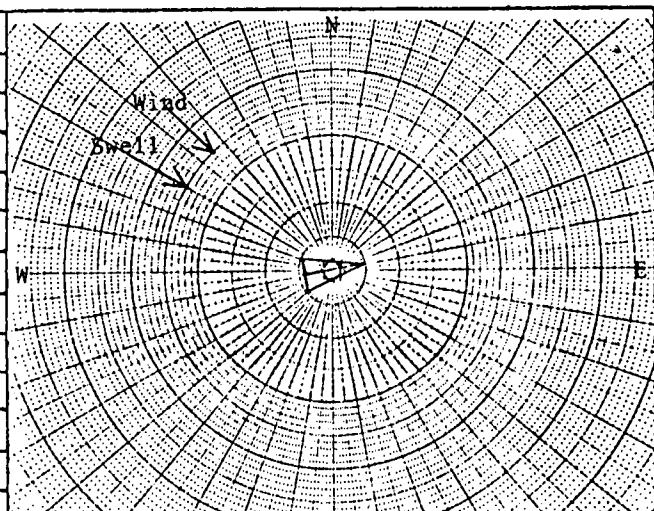


Table 5.2.3

EXP. NO.	HT-15		
Date	19B DEC. '73		
Hour	12:30		
Location	W178°42' N 41°59'		
Weather	C		
Sea state			
Barometer	1005 mb		
Temp. Air	9 °C	Sea	11 °C
Wind Direc.	280°		
Wind Speed	50 kts		
Ship direction	80°		
Ship speed	20 kts		
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	300°	280°
	Encounter Angle (deg.)	P-140°	P-160°
	Height (m)	6	2
	Period (sec.)		
	Length (m)	200	30
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec)	0.8
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data		100	1024
Standard Deviation		1.48	1.96
Wave Height (Mean Value) (m)		3.33	4.92
(significant) (m)		5.81	7.87
(1/10 Highest Mean) (m)		8.22	10.00
Wave Period (Zero Cross) (sec.)		8.25	9.68
(Peak to Peak) (sec.)		5.22	5.38
No. of Lag			102
Window			Q
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral (rad/sec.)			0.31416
Upper Limit of Integral (rad/sec.)			3.14160
Band Parameter			0.83
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$) (sec.)			12.87
($2\pi m_{-1}/m_0$) (sec.)			12.34
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) (sec.)			11.54
($2\pi m_0/m_1$) (sec.)			10.79
Note			

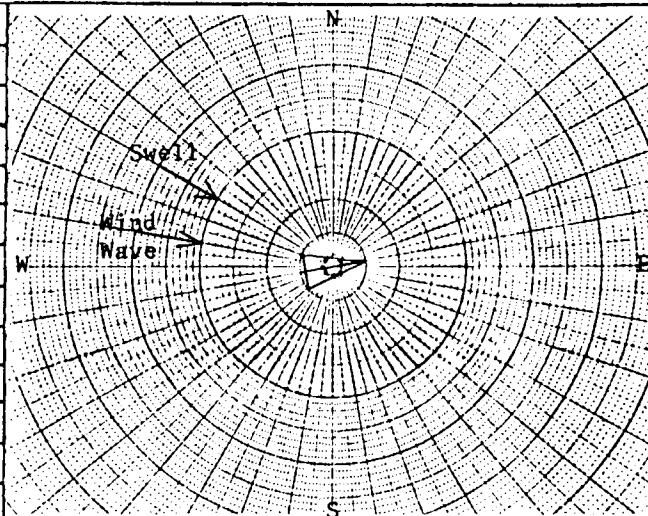


Table 5.2.4

EXP. NO.	HT-27		
Date	22 DEC. '73		
Hour	12:50		
Location	W146°51' N 46°29'		
Weather	o		
Sea state			
Barometer	1002.5 mb		
Temp. Air	9 °C	Sea	7 °C
Wind Direc.	240°		
Wind Speed	26 kts		
Ship direction	80°		
Ship speed	20.5 kts		
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	253°	260°
	Encounter Angle (deg.)	S-173°	180°
	Height (m)	4	2
	Period (sec.)	14	
	Length (m)	300	40
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec)	0.8
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data		71	1024
Standard Deviation		1.42	1.90
Wave Height (Mean Value) (m)		3.17	4.75
(significant) (m)		5.21	7.60
(1/10 Highest Mean) (m)		6.72	9.66
Wave Period (Zero Cross) (sec.)		7.76	9.50
(Peak to Peak) (sec.)		5.52	4.74
No. of Lag			102
Window			0
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral (rad/sec.)			0.31416
Upper Limit of Integral (rad/sec.)			3.14160
Band Parameter			0.87
Wave Period $(2\pi\sqrt{m_2/m_0})$ (sec.)			13.48
$(2\pi\sqrt{m_1/m_0})$ (sec.)			12.81
$(2\pi\sqrt{m_1/m_1})$ (sec.)			11.80
$(2\pi m_0/m_1)$ (sec.)			10.86
Note			

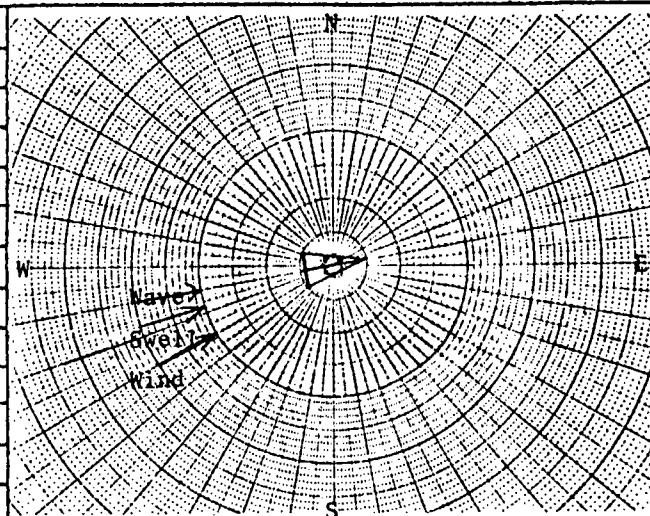


Table 5.2.5

EXP. NO.	HT-57	
Date	9 JAN. '74	
Hour	16:00	
Location	E171°07' N 43°03'	
Weather	b	
Sea state		
Barometer	1000.5 mb	
Temp. Air	6 °C	Sea 7 °C
Wind Direc.	40°	
Wind Speed	11 kts	
Ship direction	252°	
Ship speed	20kts	
Wave meter	Pressure	
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition Free
		Swell Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	272°
	Encounter Angle (deg.)	S-20°
	Height (m)	2
	Period (sec.)	7
	Length (m)	230
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec) 0.8
		Statistical Analysis Spectral Analysis
No. of Data		97 1024
Standard Deviation		0.30 0.30
Wave Height (Mean Value) (m)		0.56 0.75
(significant) (m)		0.94 1.19
(1/10 Highest Mean) (m)		1.29 1.52
Wave Period (Zero Cross) (sec.)		6.72 7.02
(Peak to Peak) (sec.)		3.94 4.06
No. of Lag		102
Window		Q
Modification		Corrected
Lower Limit of Integral (rad/sec.)		0.31416
Upper Limit of Integral (rad/sec.)		3.14160
Band Parameter		0.82
Wave Period $(2\pi\sqrt{m_2/m_0})$ (sec.)		9.98
$(2\pi m_{-1}/m_0)$ (sec.)		9.45
$(2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1})$ (sec.)		8.67
$(2\pi m_0/m_1)$ (sec.)		7.96
Note		

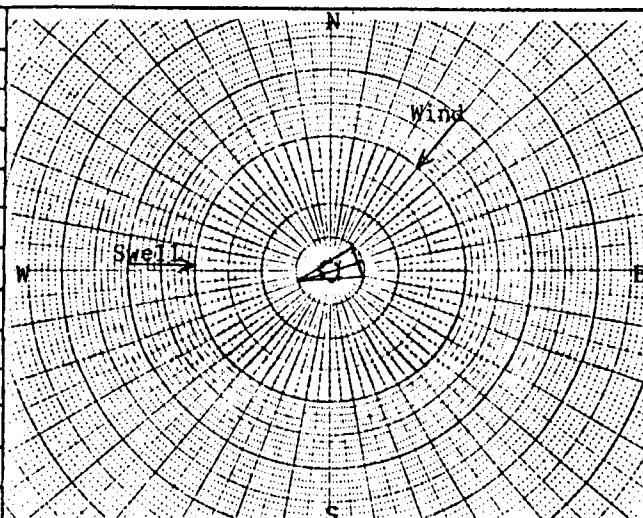


Table 5.2.6

EXP. NO.	HT-67	
Date	11 JAN '74	
Hour	16:20	
Location	E150°59' N 37°58'	
Weather	C	
Sea state		
Barometer	994.0 mb	
Temp. Air	6 °C	Sea 11.5 °C
Wind Direc.	330°	
Wind Speed	12 kts	
Ship direction	252°	
Ship speed	19.5 kts	
Wave meter	Pressure	
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition Free
		Swell Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	290°
	Encounter Angle (deg.)	S-40°
	Height (m)	3
	Period (sec.)	
	Length (m)	100
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec) 0.8
		Statistical Analysis Spectral Analysis
No. of Data	127	1024
Standard Deviation	0.40	0.39
Wave Height (Mean Value) (significant)	0.85 1.33	0.98 1.57
	(1/10 Highest Mean)	1.64 1.99
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	5.80 4.00	5.60 3.61
No. of Lag		102
Window		0
Modification		Corrected
Lower Limit of Integral		0.31416
Upper Limit of Integral		3.14160
Band Parameter		0.76
Wave Period $(2\pi\sqrt{m_2/m_0})$		7.90
$(2\pi m_{-1}/m_0)$		7.41
$(2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1})$		6.80
$(2\pi m_0/m_1)$		6.24
Note		

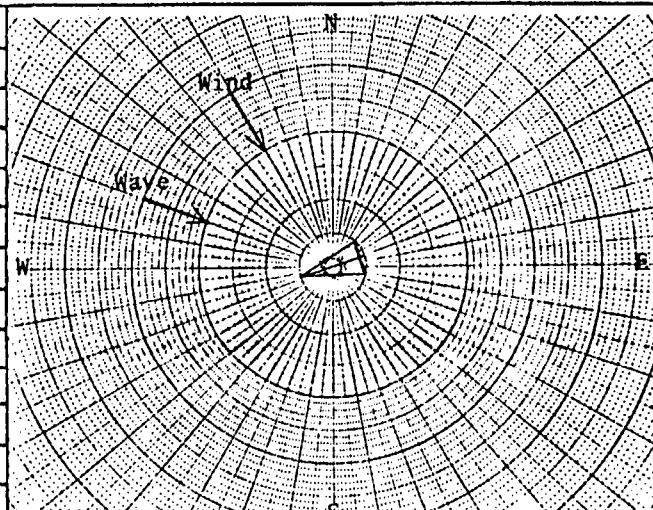


Table 5.2.7.

EXP. NO.	HT-68	
Date	12 JAN. '74	
Hour	8:30	
Location	E144°19' N 36°05'	
Weather	c	
Sea state		
Barometer	1006.5 mb	
Temp. Air	8.5 °C	Sea 17.0 °C
Wind Direc.	295°	
Wind Speed	8 kts	
Ship direction	252°	
Ship speed	15.5 kts	
Wave meter	Pressure	
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition Free
		Swell Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	300°
	Encounter Angle (deg.)	S-53°
	Height (m)	2
	Period (sec.)	6
	Length (m)	30
No. of Sample	1024	Sampling Time (sec) 0.8
		Statistical Analysis Spectral Analysis
No. of Data	82	1024
Standard Deviation	0.46	0.44
Wave Height (Mean Value) (significant)	1.10 1.60	1.09 1.75
	1.98	2.22
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	7.14 4.27	6.13 4.05
No. of Lag		102
Window		0
Modification		Corrected
Lower Limit of Integral		0.31416
Upper Limit of Integral		3.14160
Band Parameter		0.75
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$) ($2\pi m_{-1}/m_0$) ($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$) ($2\pi m_0/m_1$)		8.20 7.73 7.20 6.70
Note		

Table 5.2.8

EXP. NO.	NJ-9		
Date	13 FEB. '74		
Hour	14:00		
Location	151°41' N 35°30'		
Weather	c		
Sea state			
Barometer	1015 mb		
Temp. Air	9.5°C	Sea	14.5°C
Wind Direc.	NW		
Wind Speed	17 kts		
Ship direction	85°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	NNW	WNW
	Encounter Angle (deg.)	P-105°	
	Height (m)	4	2
	Period (sec.)	8.6	
	Length (m)	115	
No. of Sample	1025	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data	69		1025
Standard Deviation	0.99		1.13
Wave Height (Mean Value) (significant)	0.99 3.63		2.84 4.53
	(1/10 Highest Mean)	5.16	5.77
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	6.54 3.56		7.96 4.86
No. of Lag			102
Window			0
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral			0.31416
Upper Limit of Integral			3.14160
Band Parameter			0.79
Wave period $(2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0})$			9.96
$(2\pi m_{-1}/m_0)$			9.66
$(2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1})$			9.17
$(2\pi m_0/m_1)$			8.70
Note			

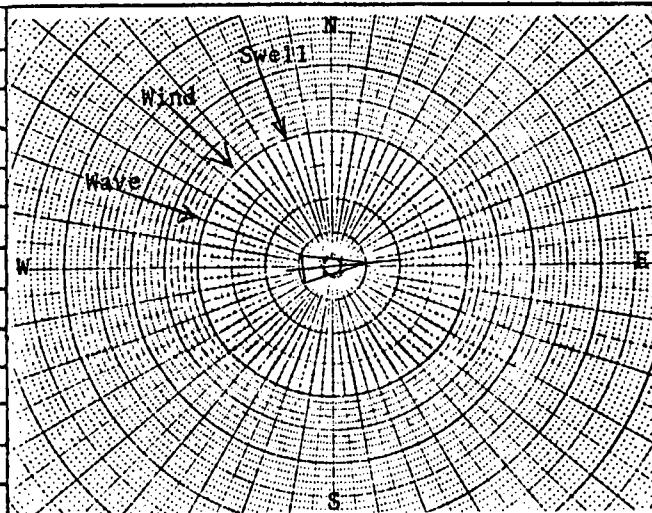


Table 5.2.9

EXP. NO.	NJ-15		
Date	14 FEB. '74		
Hour	13:55		
Location	E162°59' N 36°28'		
Weather	C		
Sea state			
Barometer	1000.5 mb		
Temp. Air	11°C	Sea	15°C
Wind Direc.	W		
Wind Speed	36 kts		
Ship direction	85°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
Visual Observation	Direction (deg.)	Swell	Wave
	Encounter Angle (deg.)	P-170°	P-170°
	Height (m)	5	3
	Period (sec.)		
	Length (m)		
No. of Sample	875	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data	51	875	
Standard Deviation	1.69	1.93	
Wave Height (Mean Value) (significant)	3.83	4.83	
	6.19	7.72	
	7.73	9.81	
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	7.34	8.53	
	4.67	5.20	
No. of Lag		87	
Window		Q	
Modification		Corrected	
Lower Limit of Integral		0.31416	
Upper Limit of Integral		3.14160	
Band Parameter		0.79	
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$)		10.49	
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_0}$)		10.18	
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$)		9.70	
($2\pi\sqrt{m_0/m_1}$)		9.25	
Note			

Table 5.2.10

EXP. NO.	NJ-22		
Date	15a FEB. '74		
Hour	13:30		
Location	E174°00' N 37°00'		
Weather	C		
Sea state			
Barometer	993.7 mb		
Temp. Air	11 °C	Sea	15 °C
Wind Direc.	WNW		
Wind Speed	33 kts		
Ship direction	85°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	W	WNW
	Encounter Angle (deg.)	P 175°	P 155°
	Height (m)	6	3.5
	Period (sec.)	8	
	Length (m)	132	
No. of Sample	1625	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data	91		1625
Standard Deviation	1.56		2.06
Wave Height (Mean Value)	3.50		5.15
(significant)	6.36		8.23
(1/10 Highest Mean)	8.79		10.47
Wave Period (Zero Cross)	7.81		9.65
(Peak to Peak)	4.09		5.07
No. of Lag			162
Window			0
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral			0.31416
Upper Limit of Integral			3.14160
Band Parameter			0.85
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$)			12.69
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_0}$)			12.25
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$)			11.50
($2\pi\sqrt{m_0/m_1}$)			10.80
Note			

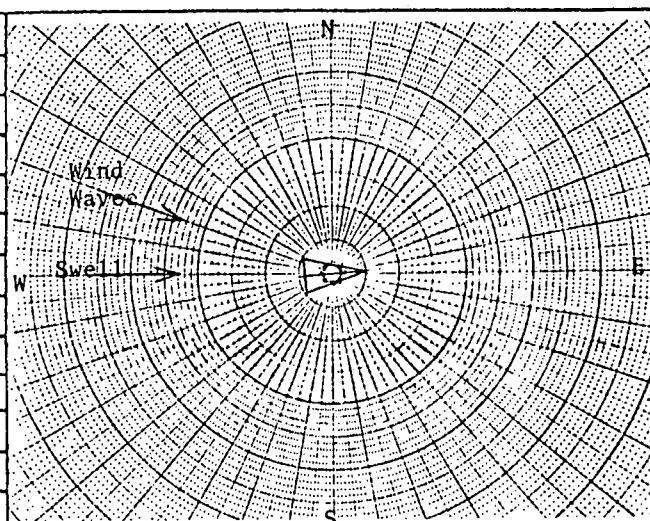


Table 5.2.11

EXP. NO.	NJ-40		
Date	17 FEB. '74		
Hour	13:10		
Location	W150°59' N36°59'		
Weather	r		
Sea state			
Barometer	1016.5 mb		
Temp. Air	13 °C	Sea	13.5 °C
Wind Dircc.	NW		
Wind Speed	23 kts		
Ship direction	98°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
Visual Observation	Direction (deg.)	Swell	Wave
	Encounter Angle (deg.)	WSW	NW
	Height (m)	S-145°	P-150°
	Period (sec.)	3	2.5
	Length (m)	16	
No. of Sample	2400	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data	162	2400	
Standard Deviation	0.74	0.80	
Wave Height (Mean Value) (significant)	1.80	2.00	
	2.39	3.19	
	3.25	4.06	
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	5.41	6.22	
	3.36	3.88	
No. of Lag		240	
Window		Q	
Modification		Corrected	
Lower Limit of Integral		0.31416	
Upper Limit of Integral		3.14160	
Band Parameter		0.78	
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_2/m_0}$)		9.60	
($2\pi m_1/m_0$)		8.79	
($2\pi\sqrt{m_1/m_0}$)		7.88	
($2\pi m_0/m_1$)		7.00	
Note			

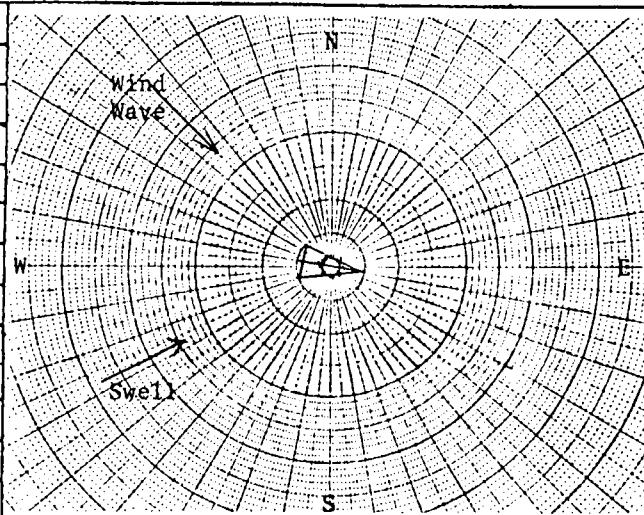


Table 5.2.1.2

EXP. NO.	NJ-72		
Date	23 FEB. '74		
Hour	8:42		
Location	W95°23' N14°23'		
Weather	bc		
Sea state			
Barometer	1012 mb		
Temp. Air	21.5°C	Sea	23 °C
Wind Direc.	0°		
Wind Speed	28 kts		
Ship direction	118°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	NNE	N
	Encounter Angle (deg.)	P.100°	P.120°
	Height (m)	3	2
	Period (sec.)		
	Length (m)		
No. of Sample	2125	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data	156		2125
Standard Deviation	0.7655		0.7760
Wave Height (Mean Value) (significant)	0.60 2.62		1.95 3.11
	(1/10 Highest Mean)	3.71	3.95
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	5.74 2.74		6.23 3.80
No. of Lag			212
Window			Q
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral			0.31416
Upper Limit of Integral			3.14160
Band Parameter			0.792
Wave period $(2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0})$			8.68
$(2\pi m_{-1}/m_0)$			8.15
$(2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1})$			7.52
$(2\pi m_0/m_1)$			6.94
Note			

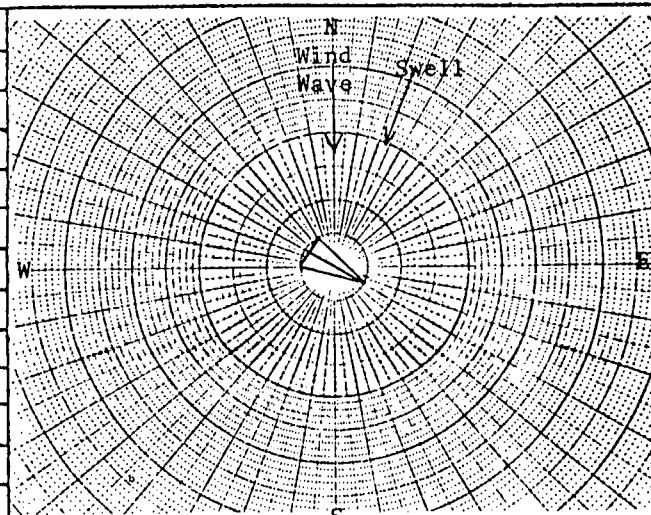


Table 5.2.1.3

EXP. NO.	NJ-96	
Date	1 MAR. '74	
Hour	13:29	
Location	W 75°00' N 33°00'	
Weather		
Sea state		
Barometer		
Temp. Air °C		Sea °C
Wind Direc.		
Wind Speed		
Ship direction		
Ship speed		
Wave meter Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition Free
		Swell Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	
	Encounter Angle (deg.)	P-150°
	Height (m)	5
	Period (sec.)	8
	Length (m)	99
No. of Sample	1375	Sampling Time (sec) 0.48
		Statistical Analysis Spectral Analysis
No. of Data	105	1375
Standard Deviation	0.76	0.76
Wave Height (Mean Value) (significant)	1.72 2.79	1.90 3.04
(1/10 Highest Mean)	4.10	3.86
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)	5.40 3.51	5.63 4.28
No. of Lag		137
Window		Q
Modification		Corrected
Lower Limit of Integral		0.31416
Upper Limit of Integral		3.14160
Band Parameter		0.65
Wave Period $(2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0})$		6.96
$(2\pi m_{-1}/m_0)$		6.59
$(2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1})$		6.28
$(2\pi m_0/m_1)$		5.93
Note		

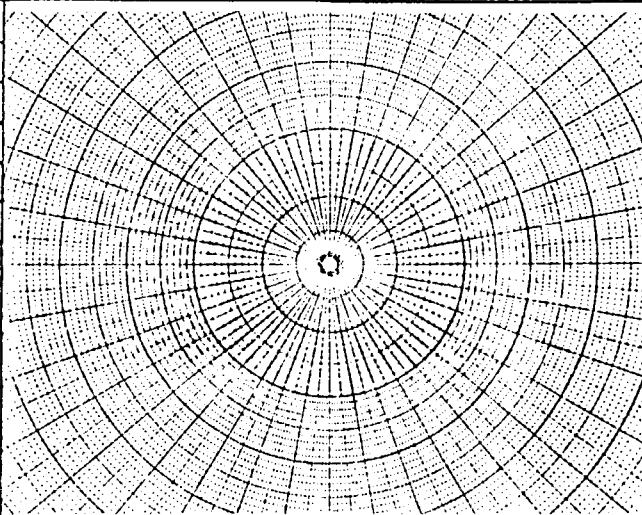


Table 5.2.14

EXP. NO.	NJ-174		
Date	22 MAR. '74		
Hour	16:05		
Location	W156°00' N 22°30'		
Weather	b		
Sea state			
Barometer	1006.5 mb		
Temp. Air	25 °C	Sca	25 °C
Wind Dirac.	SW		
Wind Speed	28 kts		
Ship direction	268°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
		Swell	Wave
Visual Observation	Direction (deg.)	W	SW
	Encounter Angle (deg.)	P-20°	P-40°
	Height (m)		2.5
	Period (sec.)		
	Length (m)		
No. of Sample	2125	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data		136	2125
Standard Deviation		0.67	0.68
Wave Height (Mean Value) (significant)		1.05 2.10	1.71 2.73
	(1/10 Highest Mean)	2.83	3.47
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)		5.60 3.24	5.97 4.19
No. of Lag			212
Window			0
Modification			Corrected
Lower Limit of Integral			0.31416
Upper Limit of Integral			3.14160
Band Parameter			0.71
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$)			7.68
	($2\pi m_{-1}/m_0$)		7.28
	($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$)		6.85
	($2\pi m_0/m_1$)		6.44
Note			

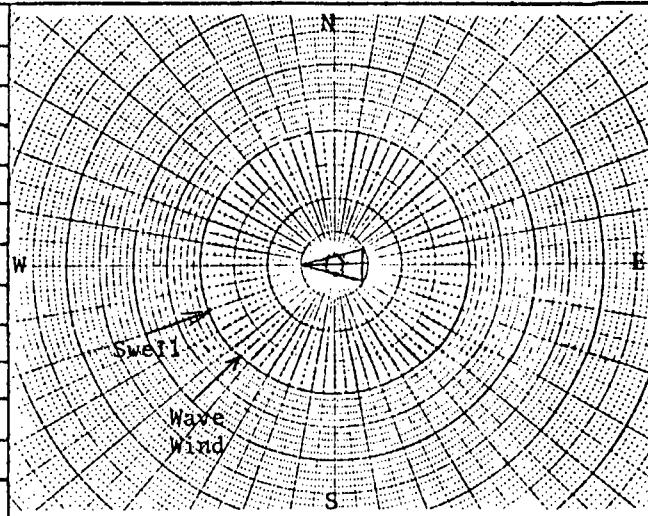


Table 5.2.15

EXP. NO.	NJ-170		
Date	23 MAR. '74		
Hour	13:15		
Location	W164°33' N 22°15'		
Weather	bc		
Sea state			
Barometer	1015 mb		
Temp. Air	23.5 °C	Sea	26 °C
Wind Direc.	NNW		
Wind Speed	22 kts		
Ship direction	280°		
Ship speed			
Wave meter	Pressure		
Depth of sensor	50 m	Wave meter condition	Free
Visual Observation	Direction (deg.)	Swell	Wave
	Encounter Angle (deg.)	NNW	NNW
	Height (m)	S-40°	
	Period (sec.)	7	
	Length (m)	13	
No. of Sample	2250	Sampling Time (sec)	0.48
		Statistical Analysis	Spectral Analysis
No. of Data		146	2250
Standard Deviation		0.53	0.67
Wave Height (Mean Value) (significant)		0.50	1.68
	(1/10 Highest Mean)	1.80	2.68
Wave Period (Zero Cross) (Peak to Peak)		2.53	3.41
No. of Lag		6.90	9.45
Window		2.57	4.74
Modification			225
Lower Limit of Integral			Q
Upper Limit of Integral			Corrected
Band Parameter			0.31416
Wave Period ($2\pi\sqrt{m_{-2}/m_0}$)			3.14160
($2\pi m_{-1}/m_0$)			0.87
($2\pi\sqrt{m_{-1}/m_1}$)			13.47
($2\pi m_0/m_1$)			12.83
			11.89
			10.69
Note			

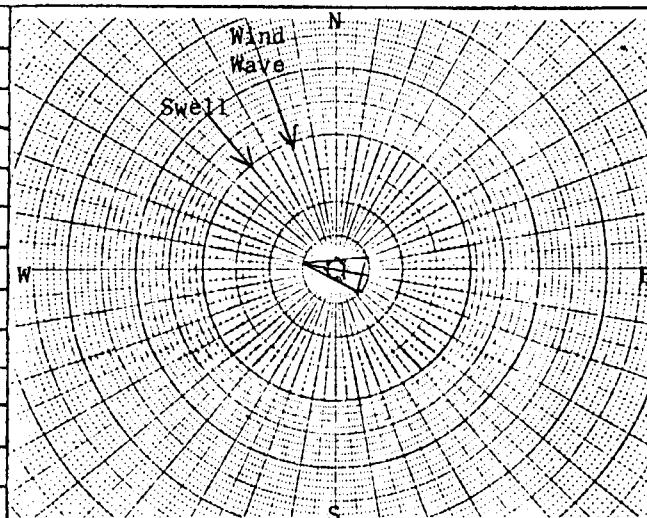


Table 5-2-16

EXP. NO.	Hv swell	Hv wave	* 1 $H^1/\sqrt{3}$	* 2 $H^1/\sqrt{3}$	Hs
HT-11	2m		4.23m	4.43m	
HT-15	6	2	5.81	6.13	7.87
HT-27	4	2	52.1	54.0	7.60
HT-57	3		0.94	0.95	1.19
HT-67		4	1.33	1.34	1.57
HT-68		2	1.60	1.63	1.75
NJ-9	4	2	3.63	3.67	4.53
NJ-15	5	3	6.12	6.34	7.72
NJ-22	6	3.5	6.36	6.61	8.23
NJ-40	3	2.5	2.34	2.39	3.19
NJ-96	5		2.79	2.80	3.04
NJ-174			2.10	2.10	2.73
NJ-179	5		1.60	1.83	2.68

Table 5-2-17

EXP. NO.	Hv swell	Hv $\sqrt{H^1/\sqrt{3}}$	Hv $\sqrt{H^1/\sqrt{3}}$ wave	$H^1/\sqrt{3}/H^1/\sqrt{3}$	$H^1/\sqrt{3}/H^1/\sqrt{3}$
HT-11				0.452	
HT-15				0.979	0.326
HT-27				0.741	0.370
HT-57				3.147	
HT-67				2.996	0.998
HT-68				1.225	0.981
NJ-9				1.091	0.545
NJ-15				0.789	0.473
NJ-22				0.908	0.530
NJ-40				1.255	1.046
NJ-96				1.789	
NJ-174					0.999
NJ-179				2.734	0.986

注) * 1 $H^1/\sqrt{3}$ は統計解析による有義波高* 2 $H^1/\sqrt{3}$ は $H^1/\sqrt{3}$ をゼロクロス平均周期で深度修正した有義波高

Table 5-2-18

Exp. No.	T _v swell sec	T _v wave sec	λ_v	統計解析				スペクトル解析				T ₁ sec	T _A sec
				T ₀ sec	T _p sec	T ₀	T ₁	T _p	T ₀₋₂	T ₀₋₁	T ₁₋₁		
HT-11	9.0	9.0	m	8.07	5.42	7.86	8.76	4.38	1.042	9.99	9.35	7.60	9.30
HT-15		200		8.25	5.22	9.68	10.79	5.38	12.87	1.234	1.154	1.132	1.387
HT-27	14.0	300		7.76	5.52	9.50	10.86	4.74	13.48	1.281	1.180	1.386	1.699
HT-57	7.0	230		6.72	3.94	7.02	7.96	4.06	9.98	9.45	8.67	1.214	1.487
HT-67		100		5.80	4.00	5.60	6.24	3.61	7.90	7.40	6.80	8.01	9.80
HT-68	6.0	30		7.14	4.27	6.12	6.70	4.05	8.20	7.73	7.20	4.39	5.37
NJ-9	8.6	115		6.54	3.56	7.96	8.70	4.86	9.96	9.66	9.17	8.59	1.052
NJ-15				7.54	4.67	8.53	9.25	5.20	10.49	10.18	9.70		8.26
NJ-22	9.2	132		7.81	4.09	9.65	10.80	5.07	12.69	1.224	1.150	9.20	1.127
NJ-40	8.0	99		5.41	3.36	6.22	7.04	3.88	9.60	8.79	7.88	8.01	9.80
NJ-96	8.0			5.40	3.51	5.63	5.93	4.28	6.96	6.59	6.28	8.01	9.80
NJ-174	5.7	51		5.60	3.24	5.97	6.44	4.18	7.68	7.28	6.85	5.72	7.00
NJ-179	8.0	99		6.90	2.57	9.44	10.69	4.74	13.47	12.83	11.89	8.01	9.80

注) *1 Tは深海波での波長と周期の関係式から求まる波周期

*2 T₁はPiersonによる見掛けの波長と周期の関係式から求まる波周期*3 T_AはCartwrightの関係式を用いて求めた波周期

Table 5-2-19

EXP. NO.	T_V/T'_0	T_P/T'_0	T_{0-V}/T'_0	T_1/T'_0	T_P/T'_0	T_{0-Z}/T'_0	T_{0-V}/T'_0	T_{1-V}/T'_0	T/T'_0	T_2/T'_0	T_1/T'_0	T_3/T'_0	$T_{A'}/T'_0$	T_4/T'_0
HT-11	1.115	0.672	0.974	1.085	0.543	1.291	1.237	1.159	0.941	1.153	1.042			
HT-15		0.632	1.173	1.308	0.652	1.560	1.496	1.399	1.373	1.681				
HT-27	1.805	0.712	1.224	1.400	0.611	1.738	1.652	1.521	1.788	2.189	1.302			
HT-57	1.041	0.586	1.045	1.184	0.604	1.485	1.405	1.290	1.807	2.213	1.128			
HT-67		0.690	0.967	1.076	0.624	1.364	1.278	1.173	1.382	1.692				
HT-68	0.840	0.597	0.857	0.938	0.566	1.147	1.082	1.008	0.614	0.752	0.945			
NJ-9	1.514	0.544	1.217	1.350	0.743	1.522	1.476	1.401	1.312	1.607	1.262			
NJ-15		0.637	1.161	1.260	0.708	1.429	1.386	1.321						
NJ-22	1.177	0.524	1.235	1.382	0.649	1.624	1.567	1.472	1.177	1.442	1.093			
NJ-40	1.478	0.620	1.149	1.301	0.718	1.774	1.624	1.455	1.479	1.812	1.480			
NJ-96	1.481	0.650	1.043	1.098	0.792	1.290	1.220	1.163	1.483	1.816	1.483			
NJ-174	1.018	0.579	1.066	1.150	0.747	1.372	1.300	1.223	1.021	1.251	1.243			
NJ-179	1.159	0.620	0.887	0.971	0.586	1.188	1.120	1.043	0.635	0.778	1.030			

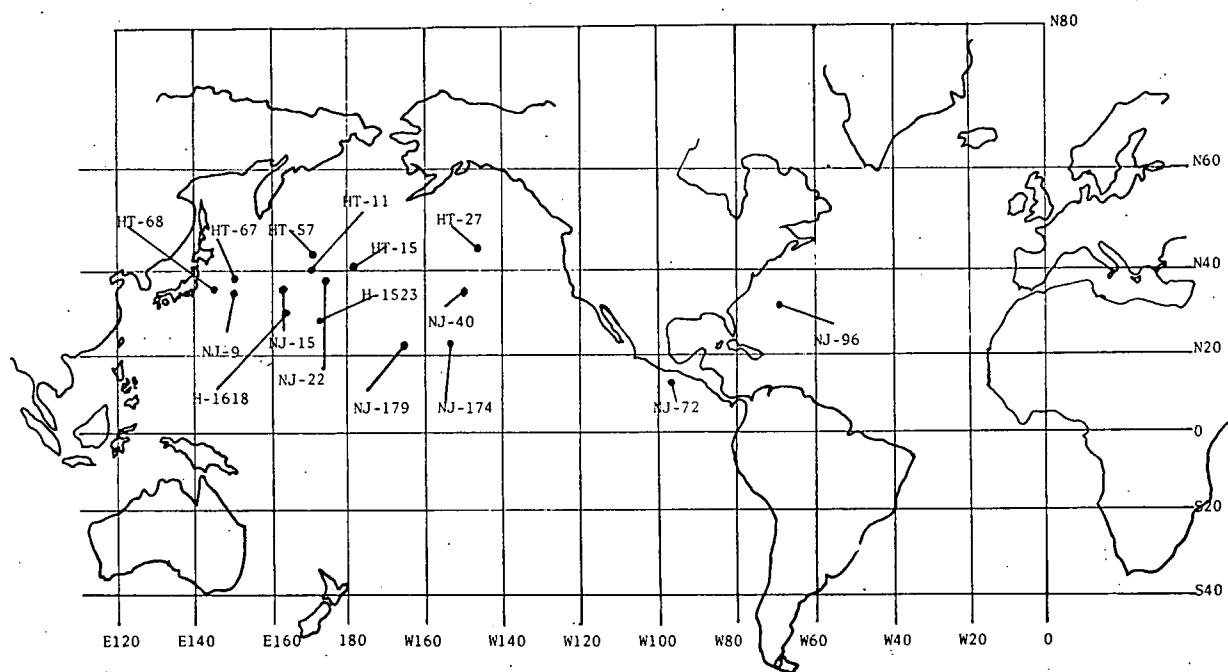
注) * 1 T'_0 は統計解析によるゼロクロス周期* 2, 3, 4 の T , T_1 , T_A は Table 6-2-16 の注釈に準ずる

Table 5-2-20

EXP. NO.	T_V/T'_P ^{*1}	T'_0/T'_P	T_0/T'_P	T_P/T'_P	T_{0-2}/T'_P	T_{0-1}/T'_P	T_{1-1}/T'_P	T/T'_P ^{*2}	T_1/T'_P ^{*3}	T_A/T'_P ^{*4}
HT-11	1.659	1.488	1.449	1.614	0.808	1.922	1.841	1.724	1.400	1.715
HT-15		1.581	1.855	2.067	1.031	2.467	2.365	2.211	2.171	2.658
HT-27	2.534	1.405	1.720	1.967	0.858	2.441	2.520	2.136	2.511	3.075
HT-57	1.776	1.705	1.782	2.019	1.030	2.532	2.397	2.200	3.081	3.773
HT-67		1.449	1.401	1.559	0.904	1.976	1.852	1.699	2.002	2.452
HT-68	1.407	1.675	1.435	1.572	0.949	1.922	1.813	1.688	1.0283	1.259
NJ-9	2.417	1.839	2.238	2.446	1.566	2.800	2.715	2.576	2.414	2.956
NJ-15		1.571	1.824	1.978	1.111	2.244	2.177	2.075		1.667
NJ-22	2.248	1.910	2.358	2.639	1.239	3.101	2.992	2.810	2.248	2.322
NJ-40	2.382	1.612	1.853	2.096	1.157	2.860	2.617	2.345	2.384	2.920
NJ-96	2.279	1.539	1.605	1.690	1.219	1.984	1.877	1.789	2.281	2.794
NJ-174	1.760	1.728	1.842	1.988	1.292	2.371	2.247	2.113	1.765	2.162
NJ-179	1.407	1.675	1.435	1.572	0.949	1.922	1.813	1.688	1.028	1.259

注) * 1 T'_P は統計解析による Peak to Peak 平均周期

* 2, 3, 4 の T , T_1 , T_A は Table 6-2-16 の注記に準ずる



注) H-1523, H-1618はJA号による計測である2), 3)

Fig. 5.2.1 波浪計測位置

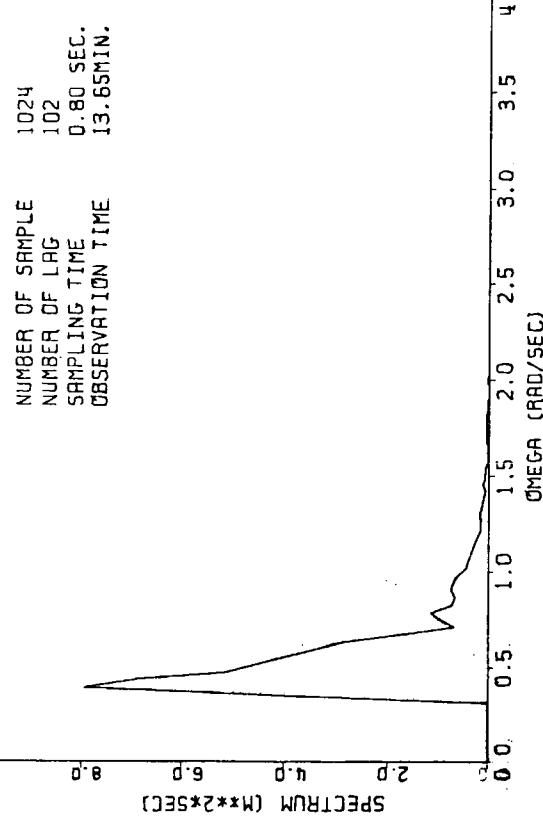
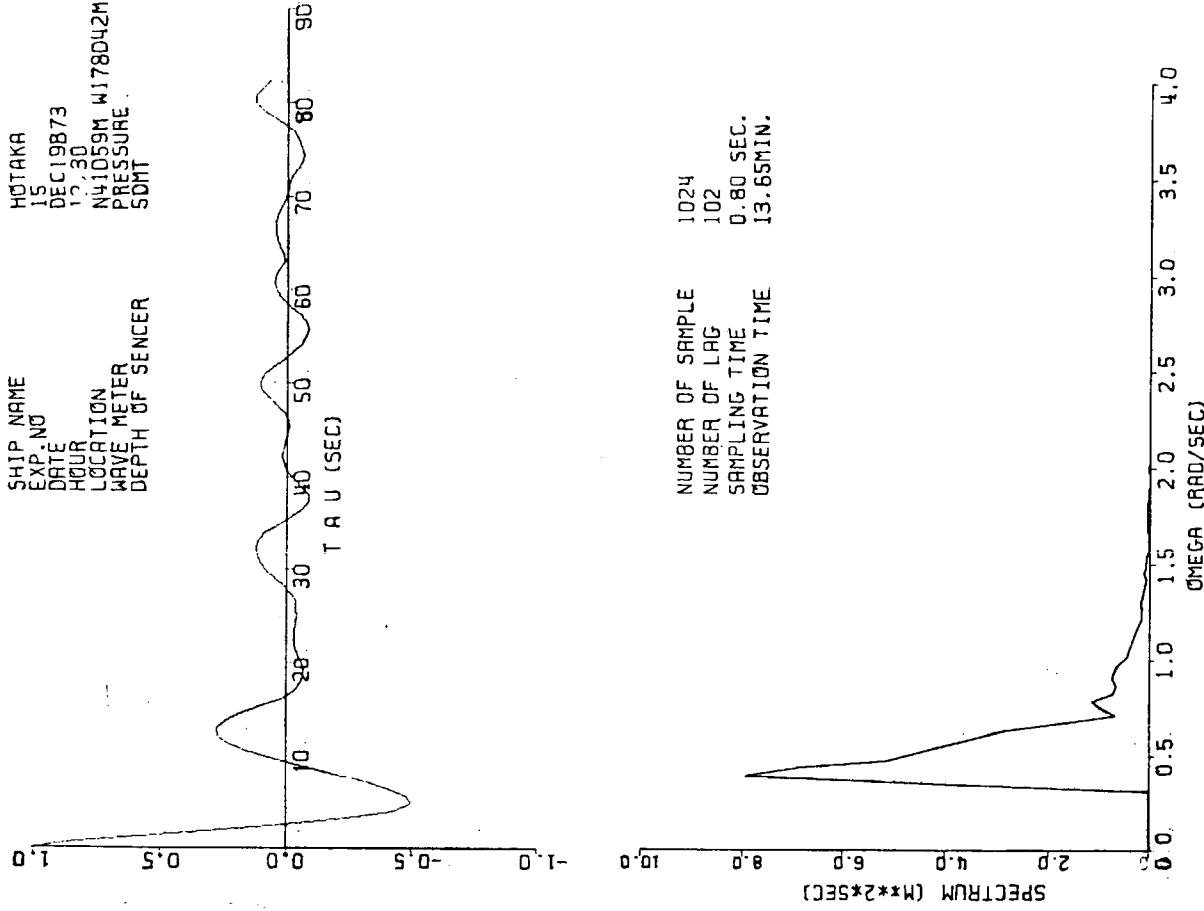
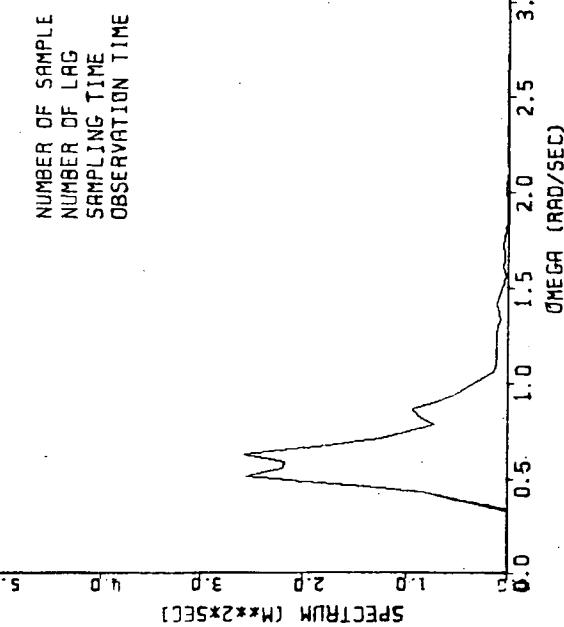
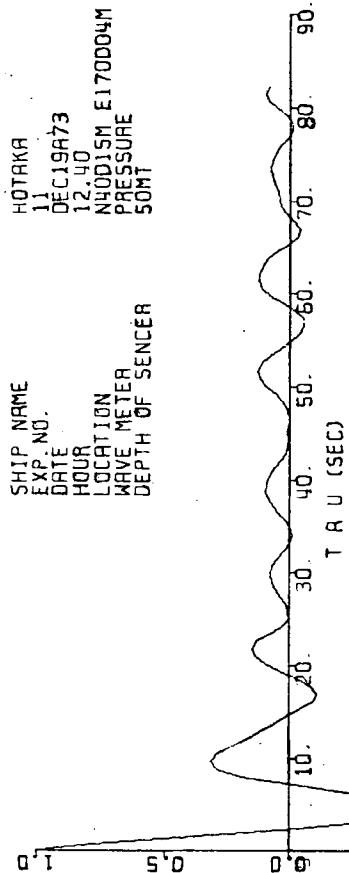
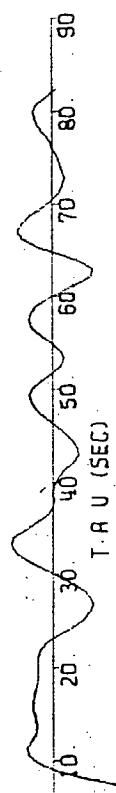


Fig 5-2-4

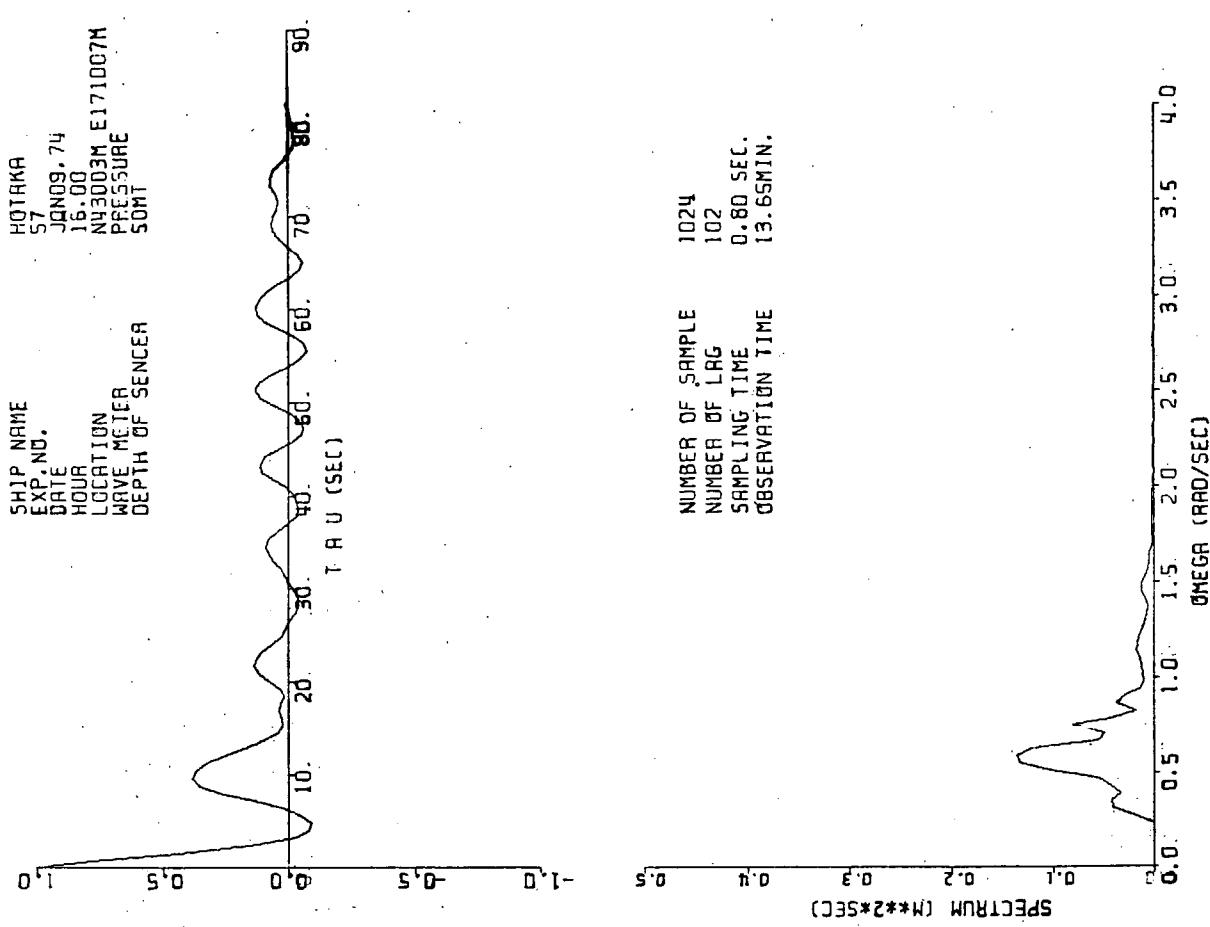
Fig 5-2-5

SHIP NAME HOTAKA
 EXP. NO. 27
 DATE DEC 22, 73
 HOUR 12:50
 LOCATION NY 6029M W 146051M
 PRESSURE 50MT
 WAVE METER
 DEPTH OF SENCER



NUMBER OF SAMPLE 1024
 NUMBER OF LAG 102
 SAMPLING TIME 0.80 SEC.
 OBSERVATION TIME 13.65MIN.

NUMBER OF SAMPLE 1024
 NUMBER OF LAG 102
 SAMPLING TIME 0.80 SEC.
 OBSERVATION TIME 13.65MIN.



NUMBER OF SAMPLE 1024
 NUMBER OF LAG 102
 SAMPLING TIME 0.80 SEC.
 OBSERVATION TIME 13.65MIN.

Fig. 5-2-6

Fig. 5-2-7

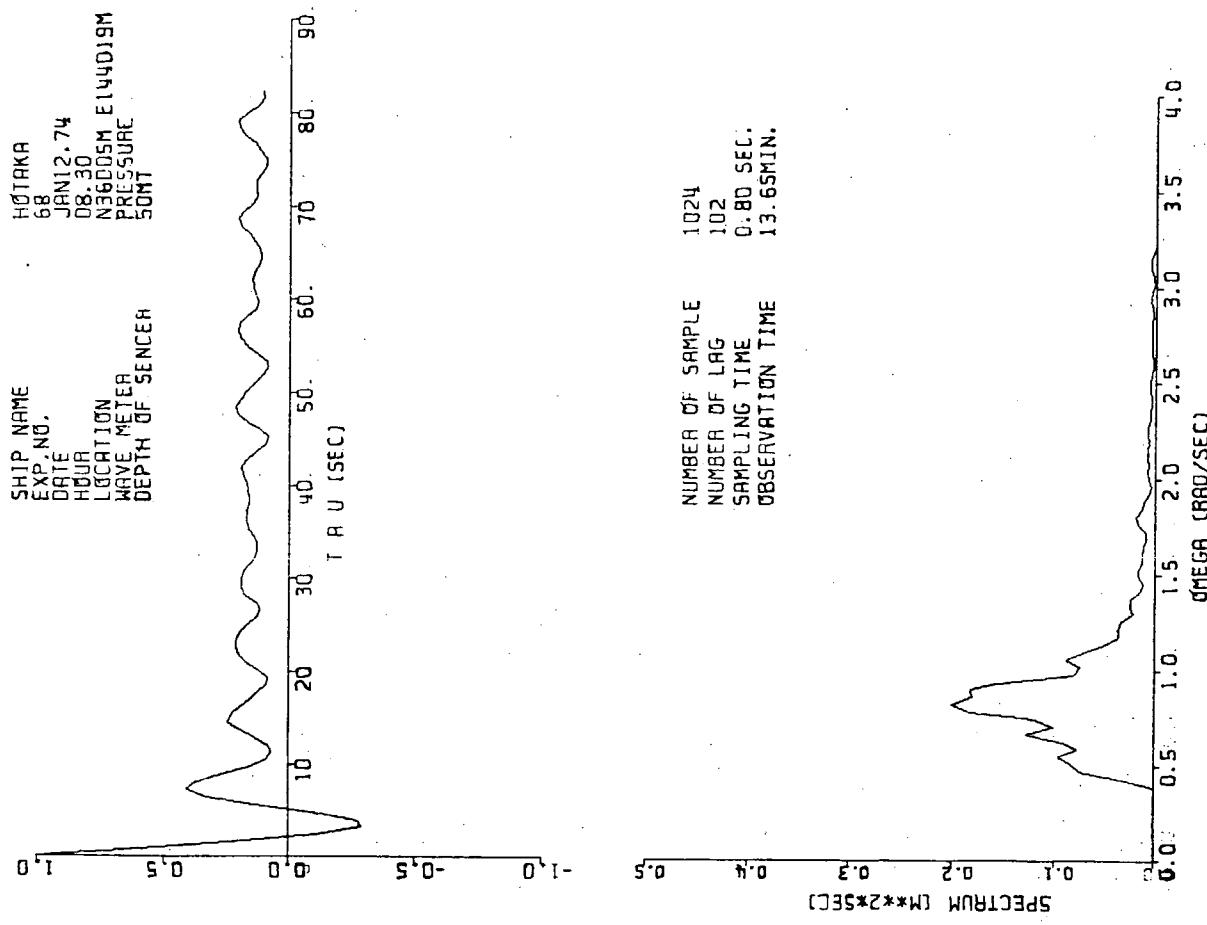
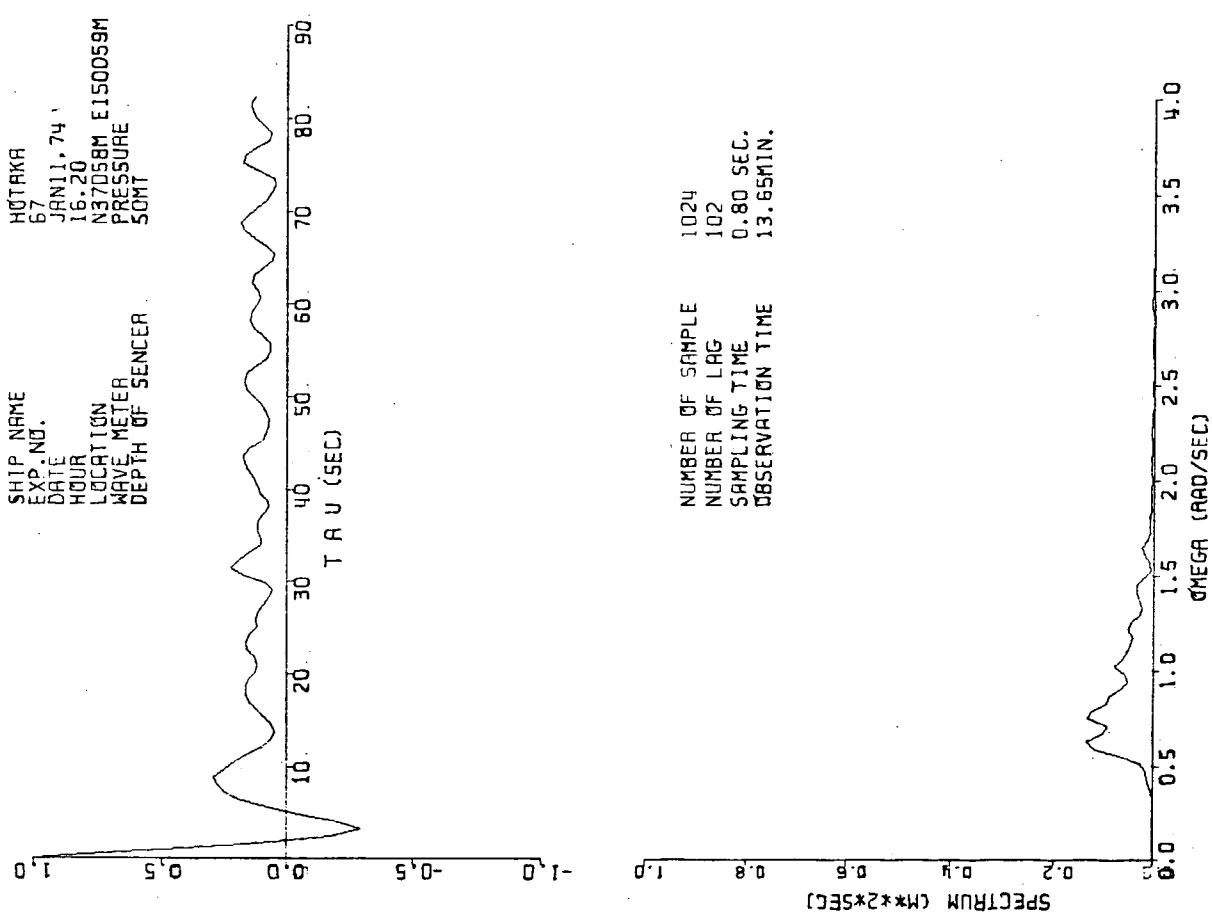


Fig 5-2-8

Fig 5-2-9

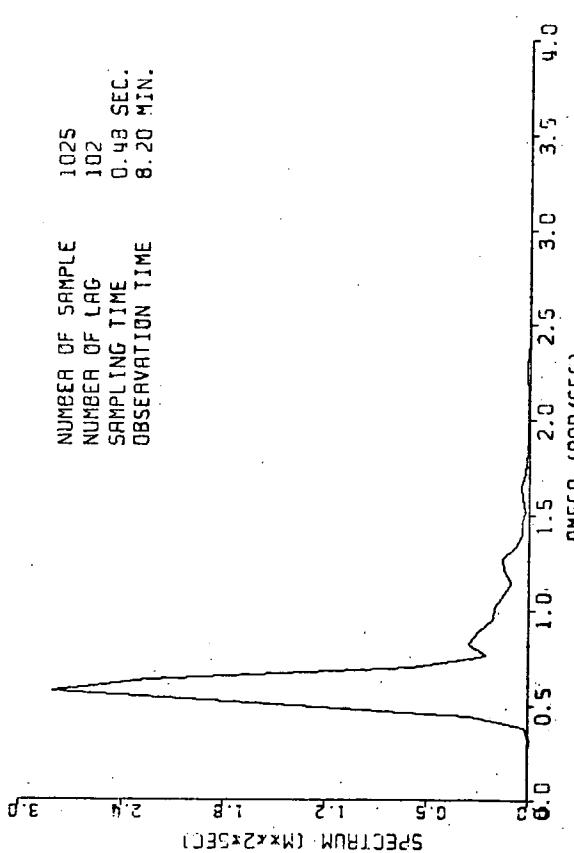
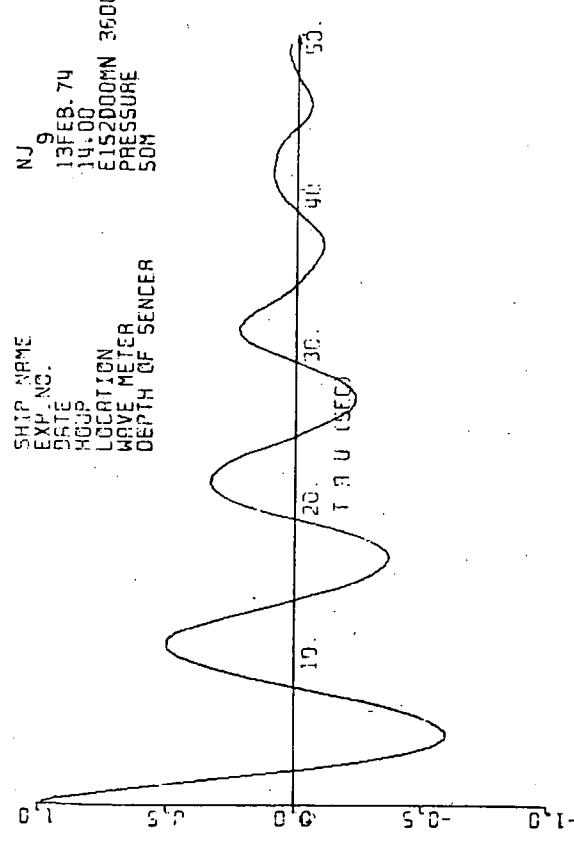
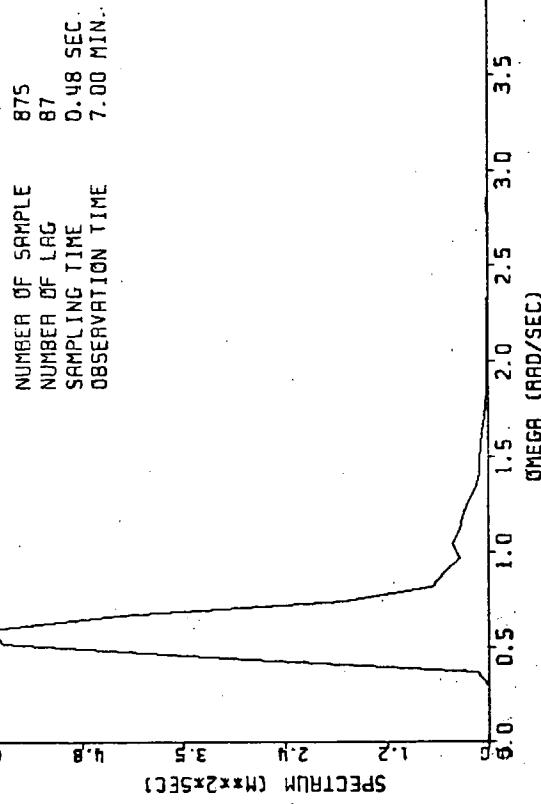
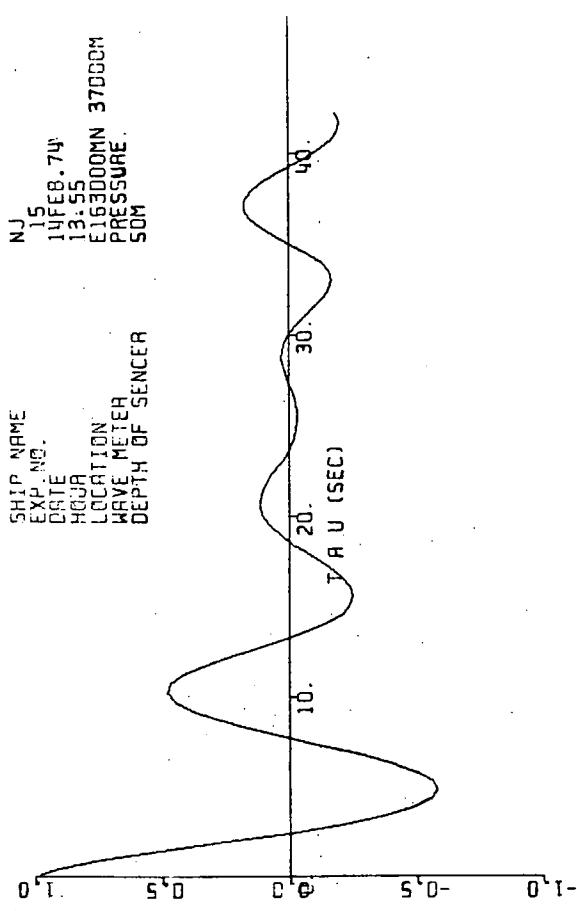


Fig 5-2-10

Fig 5-2-11

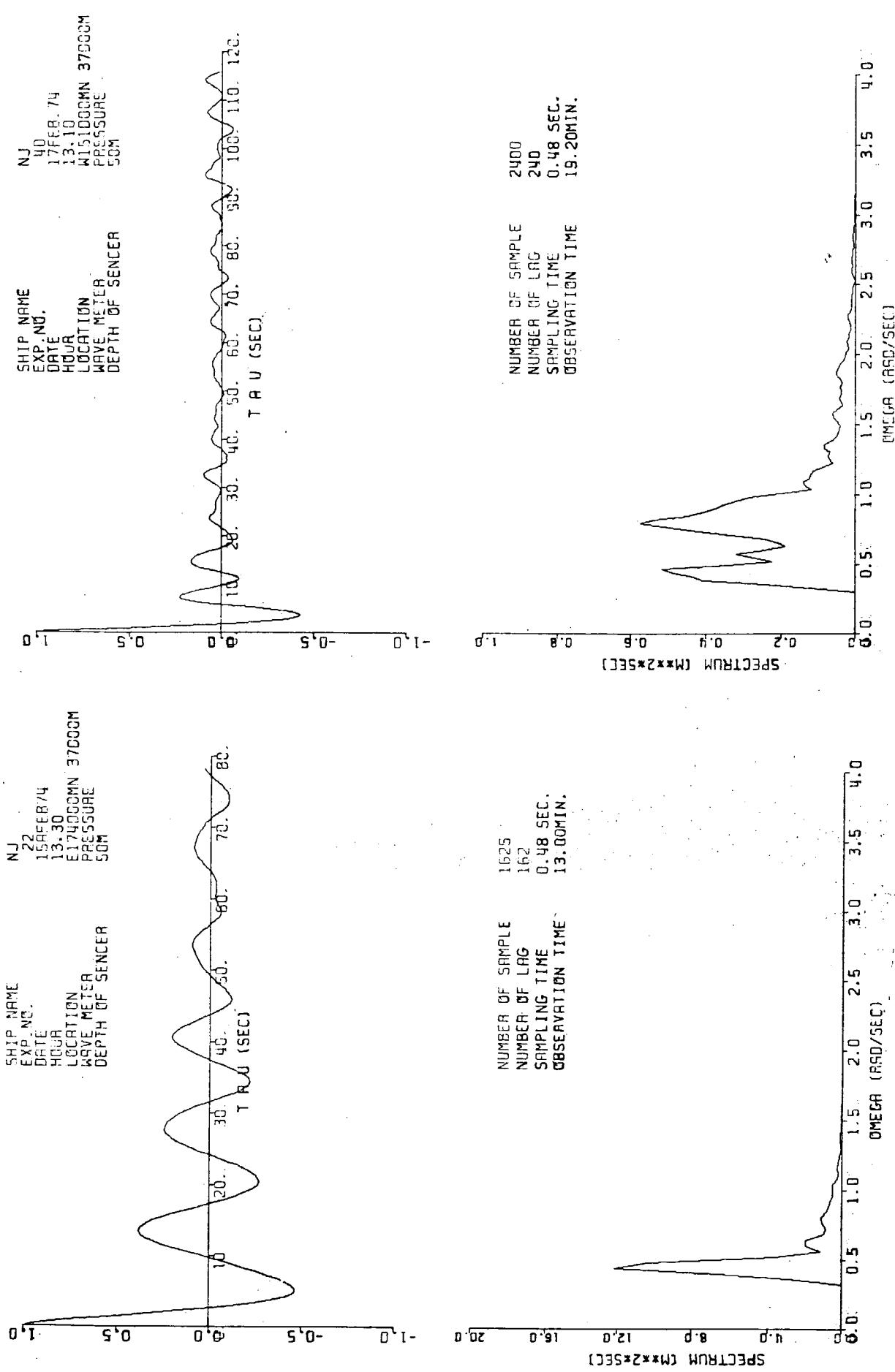


Fig 5-2-12

Fig 5-2-13

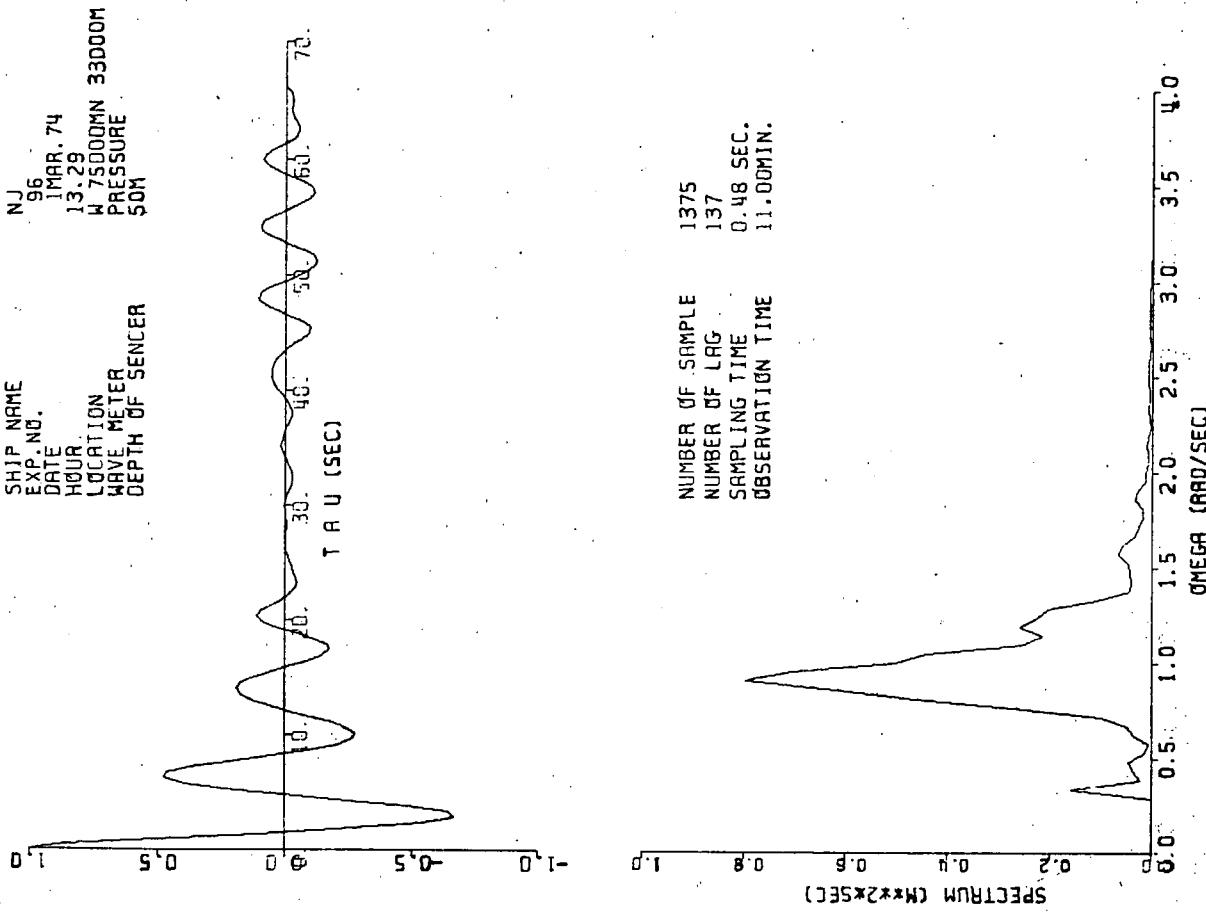
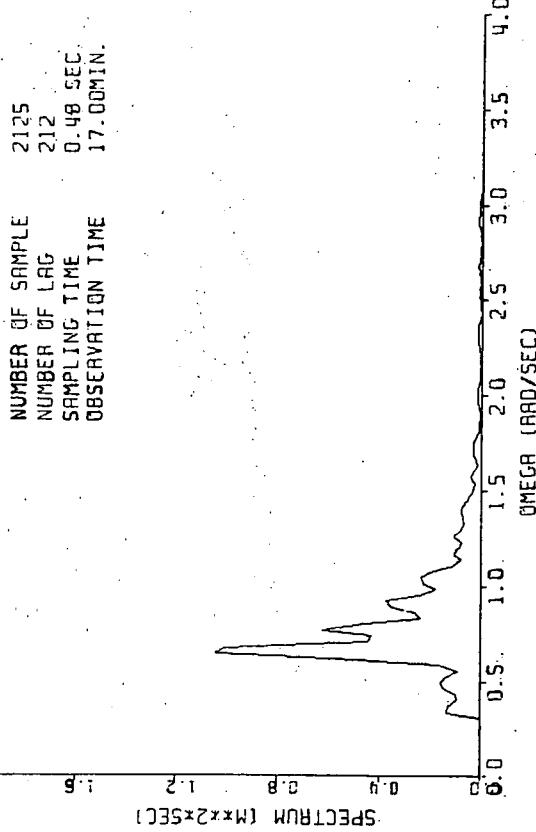
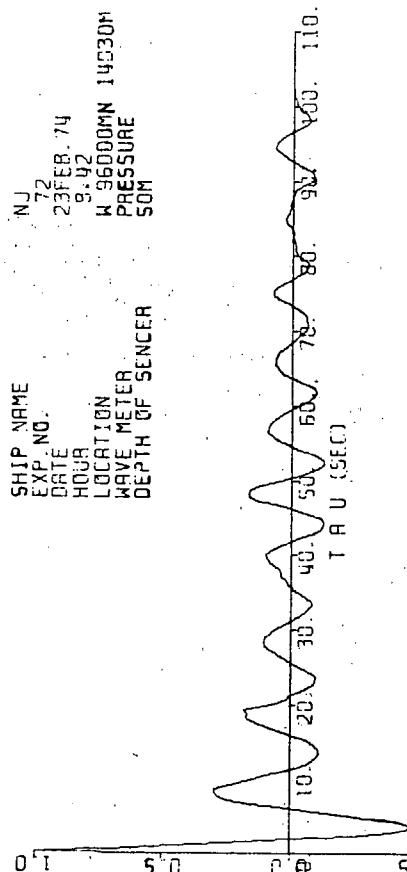


Fig 5-2-14

Fig 5-2-15

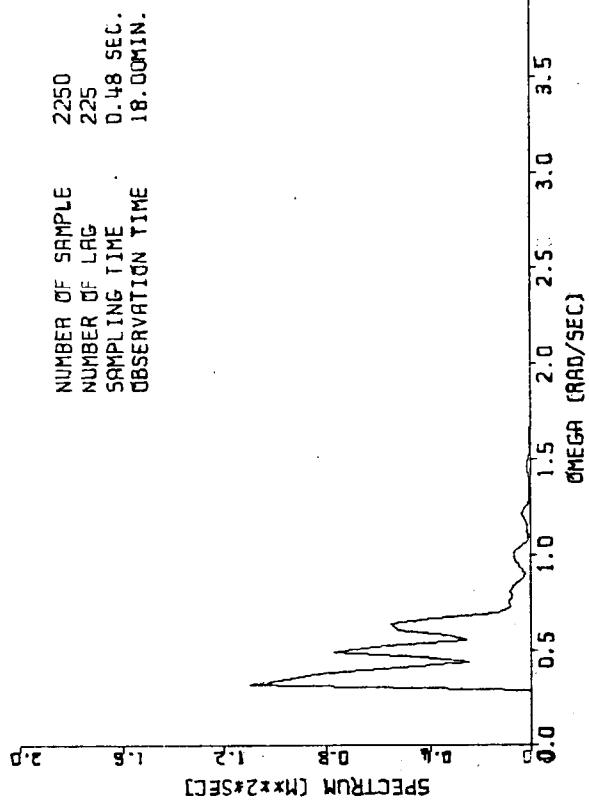
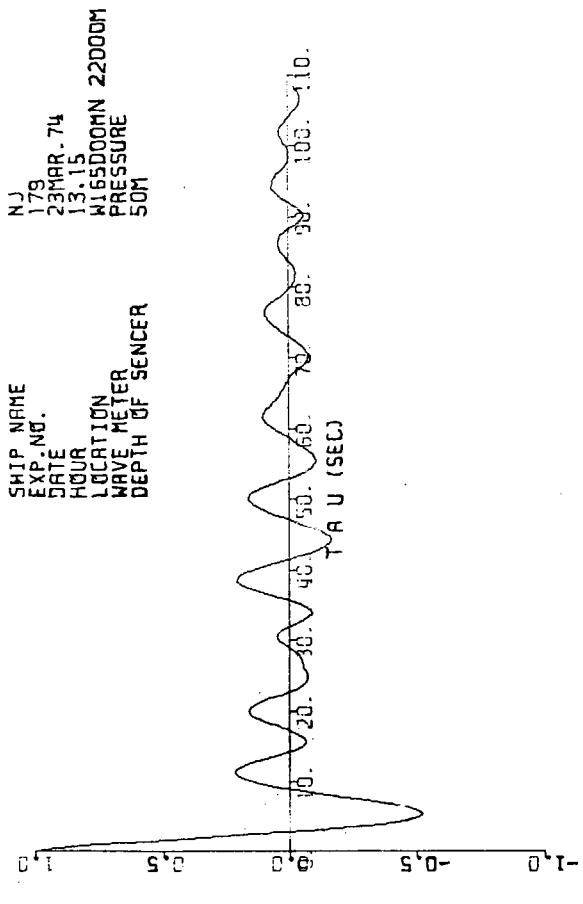
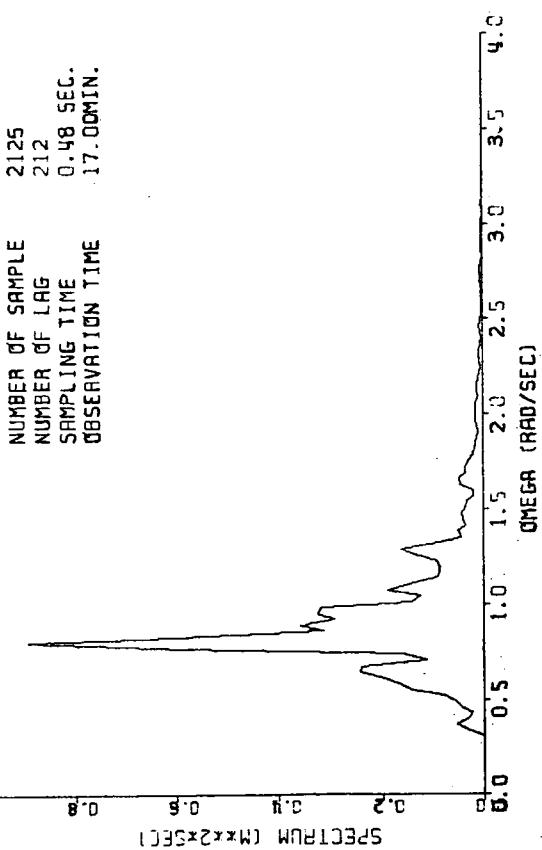
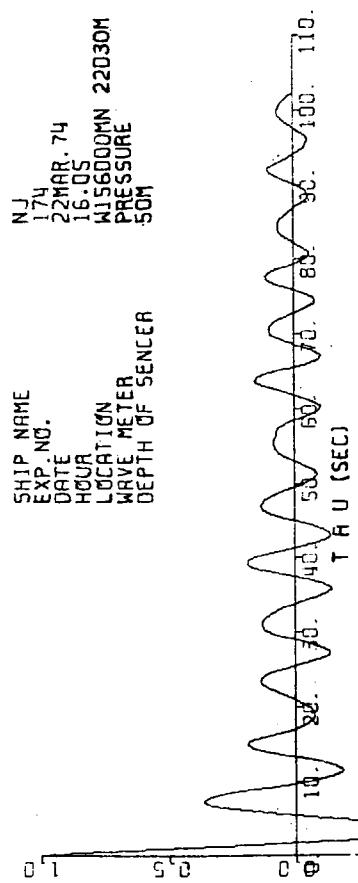
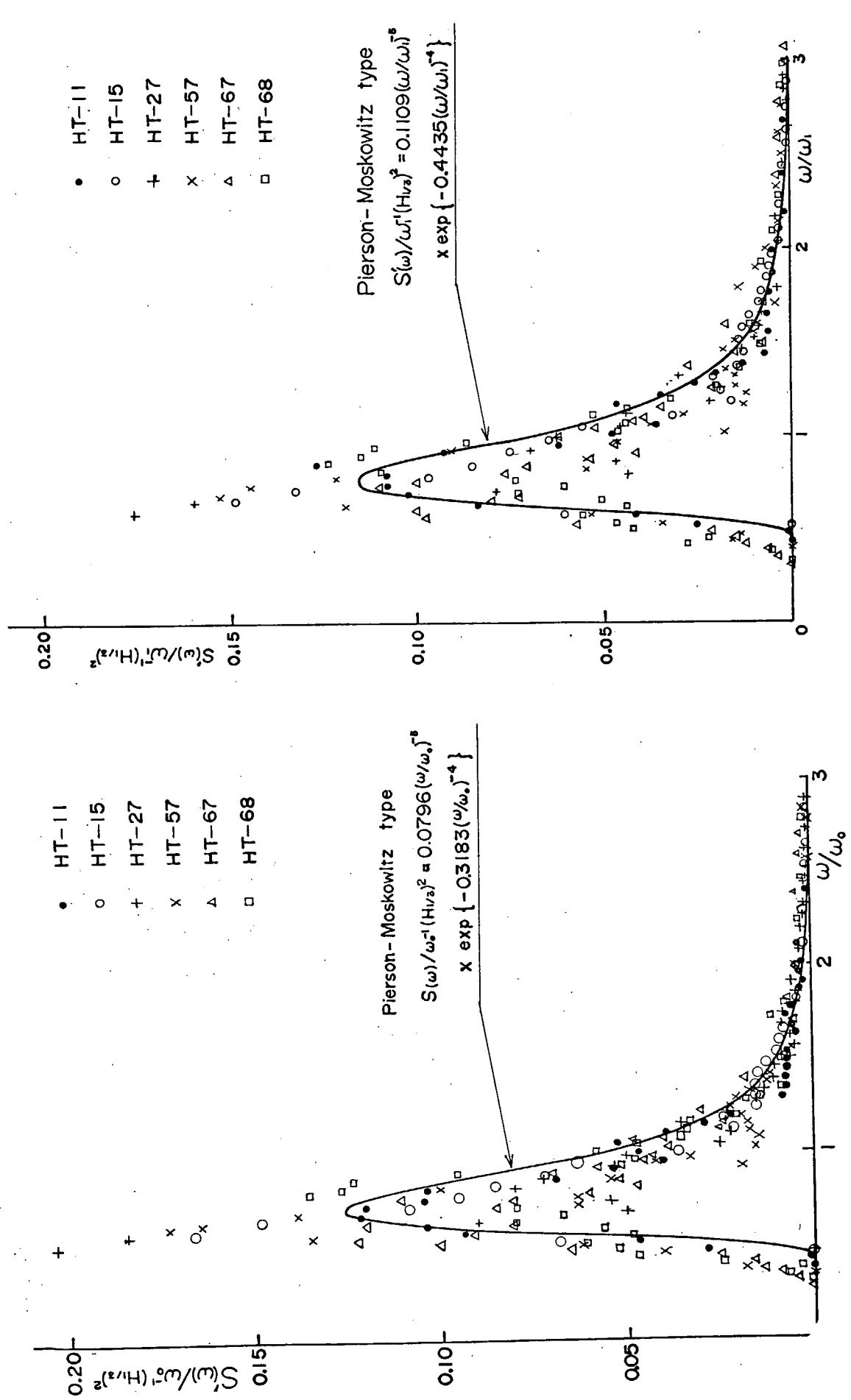


Fig 5-2-16

Fig 5-2-17



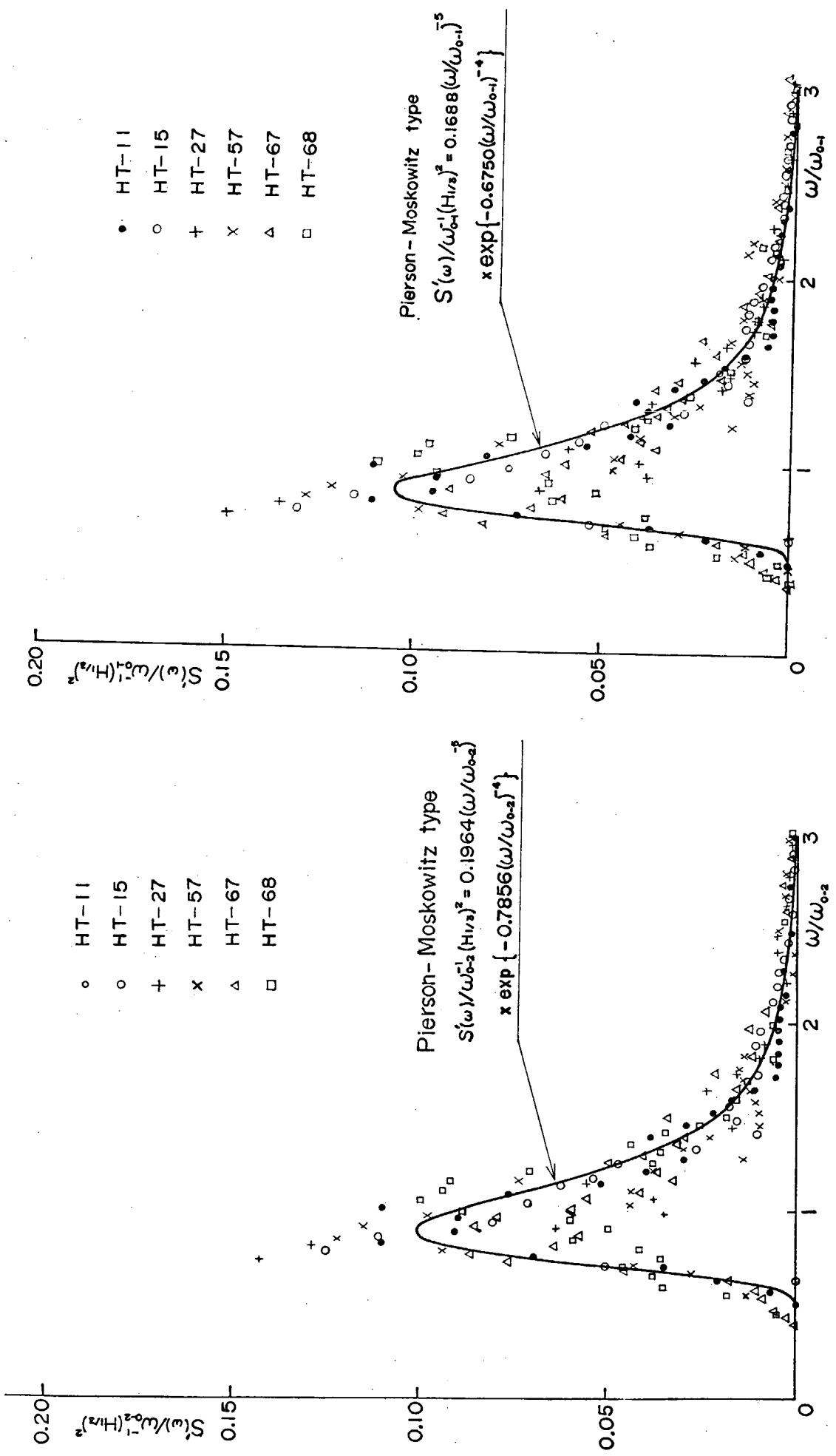


Fig 5-2-21 Normalized Spectra due to Zero Crossing Period T_{0-1}

Fig 5-2-20 Normalized Spectra due to Zero Crossing Period T_{0-2}

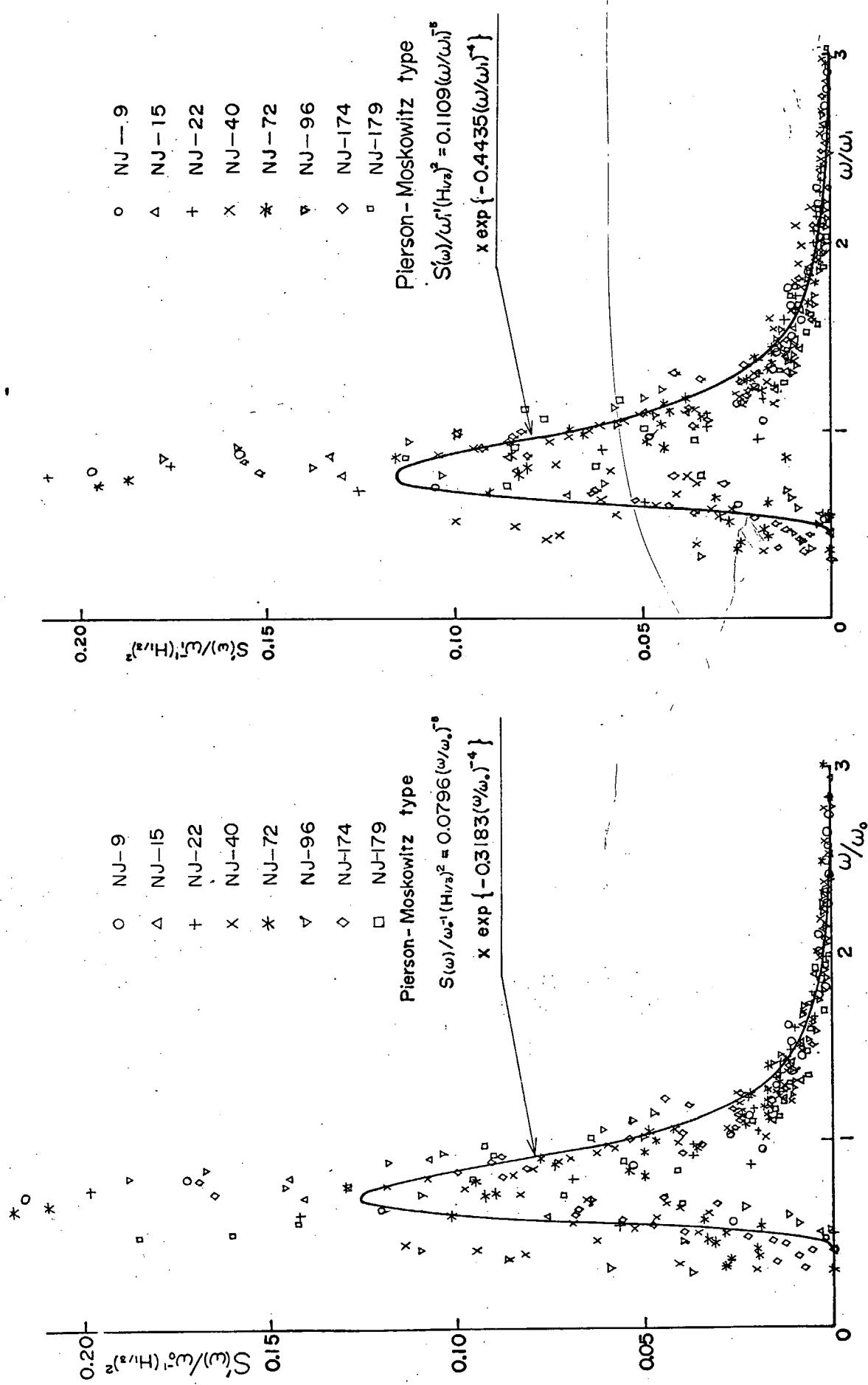


Fig. 5-2-22 Normalized Spectra due to Zero Crossing Period T_0

Fig. 5-2-23 Normalized Spectra due to Zero Crossing Period T_0

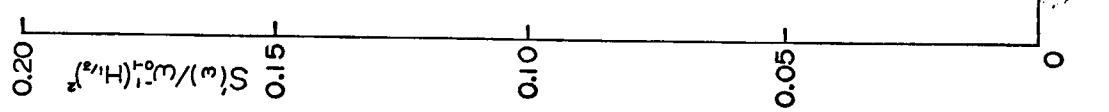
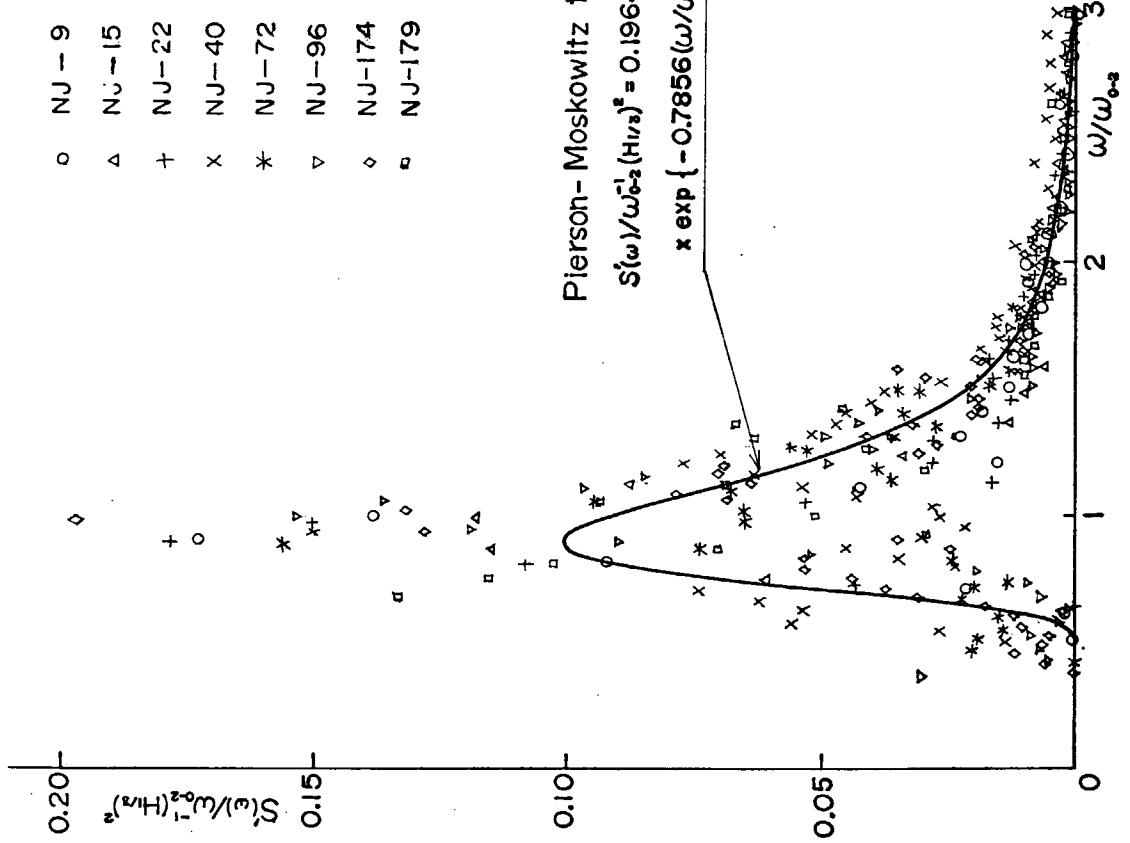


Fig. 5-2-24 Normalized Spectra due to Zero Crossing T_{0-2}

Fig. 5-2-25 Normalized Spectra due to Zero Crossing Period T_{0-1}

6 レーダ 波向計

6.1 はしがき

レーダによる波向観測の研究に関する昨年度までの研究概要は次の通りである。

すなわち、昭和47年度には方法について調査を行ない、これにもとづき、昭和48年度事業としてレーダによる波向観測システムを製作し、計測船「笠木山丸」に搭載し、オーストラリアへ三航海し、観測した。本システムの概要是48年度報告書に述べた通りであるが、本システムによつて波向に関する次のデータ、(イ)レーダ PPI 映像写真および(ロ)レーダ信号の磁気テープ記録が得られる。

これらのデータより次のことが行なえる。

- イ PPI 映像写真および磁気テープ記録の再生映像の観察
- ロ 連続撮影の PPI 映像写真の動的観察
- ハ 磁気テープ記録または PPI 映像写真を波向解析装置にかけて波向の推定

昭和49年度には昭和48年度にひきつづき、笠木山丸で二航海同様の観測を行ない、また前記イ、ロ、ハの研究についても推進された。

これらの情報の全般の解析整理ならびに各種の方法の得失については最終報告書において述べることにする。

6.2 笠木山丸の観測

6.2.1 観測の概要

笠木山丸における観測は波浪計による計測と同様に、レーダについても次の5航海行なわれた。

第一次航観測	S 48. 12. 16 ~ S 49. 1. 8
第二次航観測	S 49. 1. 16 ~ S 49. 2. 26
第三次航観測	S 49. 3. 1 ~ S 49. 3. 31
第四次航観測	S 49. 8. 25 ~ S 49. 9. 25
第五次航観測	S 49. 9. 30 ~ S 49. 10. 23

これらの観測のうち、第一次航では出港直前にレーダ信号処理装置が不調になり、PPI 映像写真、磁気テープ記録とともに良質の記録が得られなかつた。一次航終了後修理調整を行ない、その後の航海では PPI 映像写真是正常に撮影されたが、磁気テープ記録については二次航と五次航では良い影像再生ができるが、三・四次航分については不良であつた。

6.2.2 PPI 映像について

笠木山丸の波向解析用モニター・レーダで撮影された PPI 映像の写真例を写真1から4までに示す。

写真上段の数字は左から、年・月・日・時・分を2桁づつで表示している。最後の3桁は船首方位を示す。これら4枚の写真はいずれも半径3浬レンジであり、中央部の円は半径1浬を示している。方位はすべて真方位であるので、中央上が北000度である。映像中央にV字形の陰ができるのはマストによつて後方へレーダ電波が照射されることができた陰であつて、船尾方向を示しており、前記の方位の180° 反対側に生ずることとなる。

今までの報告書にも述べたようにレーダの海面反射の強度は、表面張力波に近い短波長の波に強く影響され、長波長の波では視認にくいが、風浪とうねりが重なつているときはうねりも認めることができる。

写真1で認められる波峯線と風向とはよく一致する。しかし、写真2および写真4ではそれほど明瞭ではないが、うねりかと思われる波峯線と風向とは必ずしも一致していない。よく観察すれば風向からくる小さな波峯線も認めうるようであるが明確ではない。

昭和49年の笠木山丸 第四次航において、今までとは異なる映像がえられたのでとくにここに述べる。

写真5と6に9月4日午前の観測、写真7と8に9月24日午後に観測した4枚の写真であるが、写真5と6のPPI映像写真には船体正横方向からのうねりと思われる、きれいな長い縞模様がとくに顕著である。しかし、そのとき観測した風向は 160° であった。

また写真7と8の写真では写真7が半径3浬レンジ、写真8が1.5浬レンジであるが、二方向から波がきていることがその波峯線より明らかである。このときの風向は 270° で目視によるうねりの方向は 050° であったと報告されている。これら写真1から8までの気象ならびに波の観測データは、本報告書ならびにSR124研究部会報告書中の、大阪府立大学の波浪計に関する章、および東京大学生産技術研究所の自動計測に関する章に詳記されているので参照されたい。

これまでの観測では、このように二方向からの波向をこれほど明確に観測したことはなかつたので、この9月24日のPPI映像写真は二方向からの波もレーダーで観測しうる場合があることを示した成果といえよう。

6.2.3 波向解析について

すでに作製ずみの波向解析装置では、PPI写真を拡大焼付けしたものを使用してきたが、本年度では笠木山丸で磁気テープに記録したレーダー信号を再生し入力信号として解析した。

信号入力パルスの数が多い方向が波向として出てくるという点ではPPI写真による実験と同じであるので、風浪の方向と解析結果はよく一致したが、うねりについては明らかにはされなかつた。その障害となるのはPPI像の中心、すなわち船位に近いところでは、反射信号が強く、それが風浪に左右されるためである。この点を改善するために、中央部を遮蔽し、ある距離をはなれたところ以遠の信号について解析する方法も試験し、若干の改善はされたが、予期したほどの影響は生じなかつた。

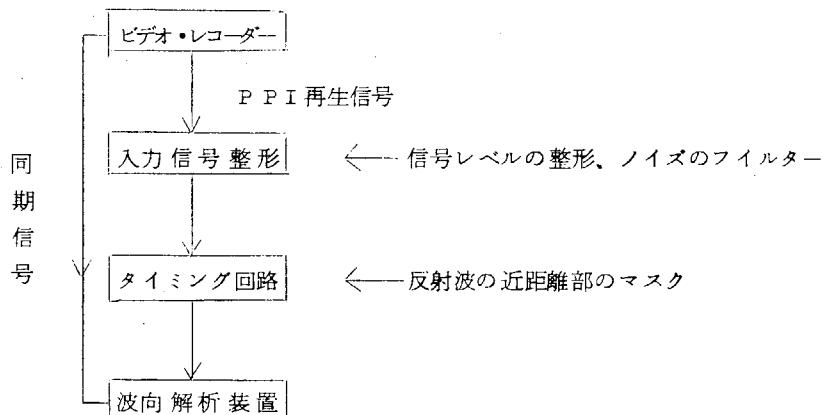


図1 近距離部マスクを付けた波向解析装置ブロック図

図1が49年度に実施した解析装置の改良ブロック図であり、図2にその解析例を示す。図2の結果はタイミング0.5浬相当の間入力信号をマスクしたもので、レーダー・スウェーブの一回転の中の対称性がはつきりと出



写真1 49年1月20日 1041, 193
観測風向 050°

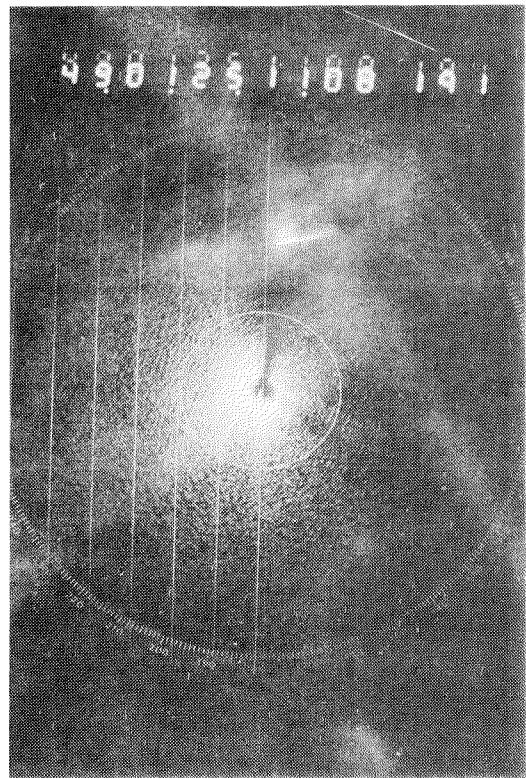


写真2 49年1月25日 1108, 141
観測風向 245°

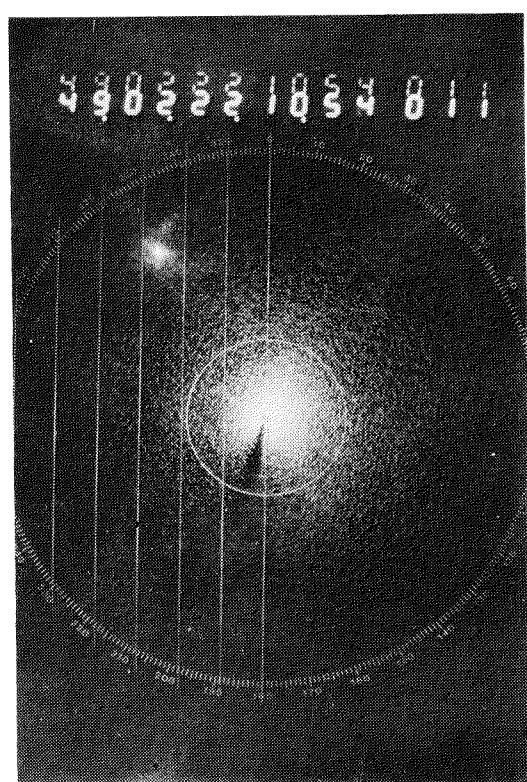


写真3 49年2月22日 1054, 011°
観測風向 060°

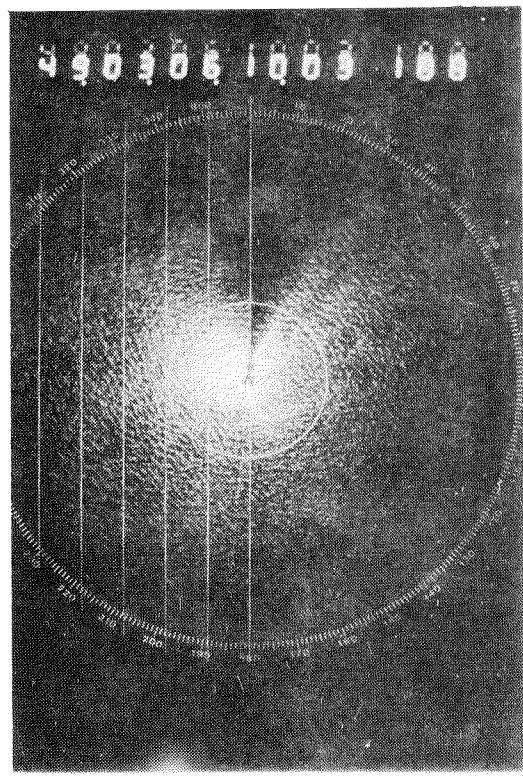


写真4 49年3月5日 1003, 100
観測風向 340°

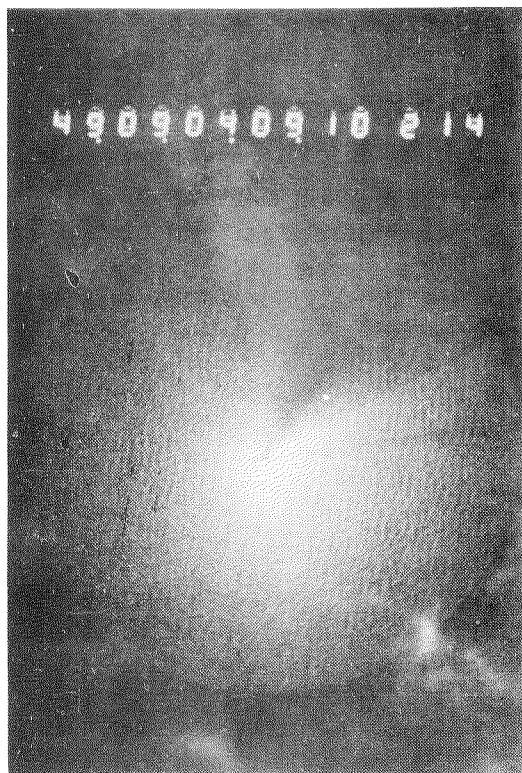


写真2　47年4月2日　14時50分
観測風向　150°

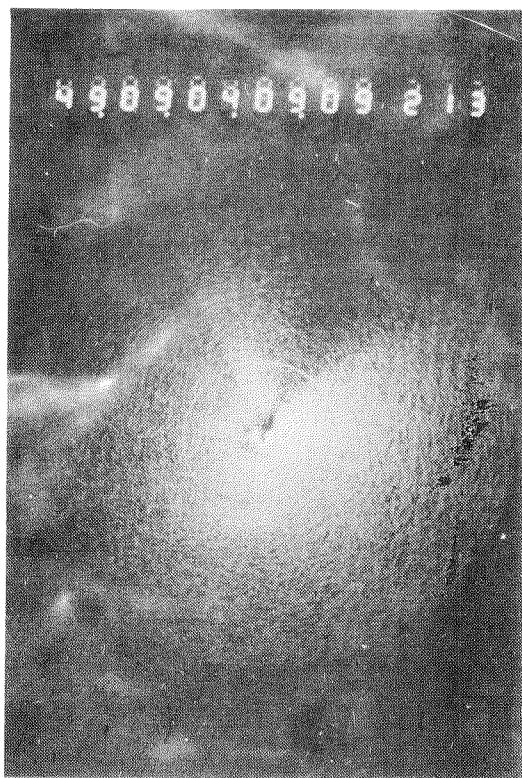


写真3　47年4月4日　14時50分
観測風向　160°

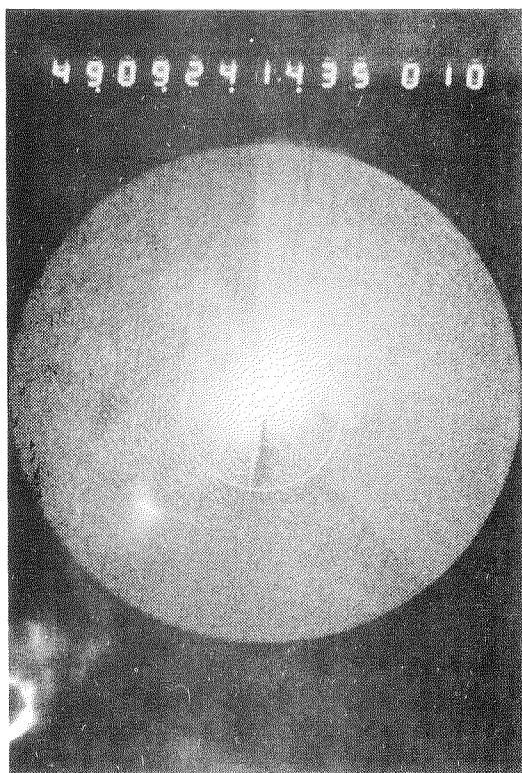


写真4　47年4月2日　14時50分
観測風向　270°
観測うねり方向　150°

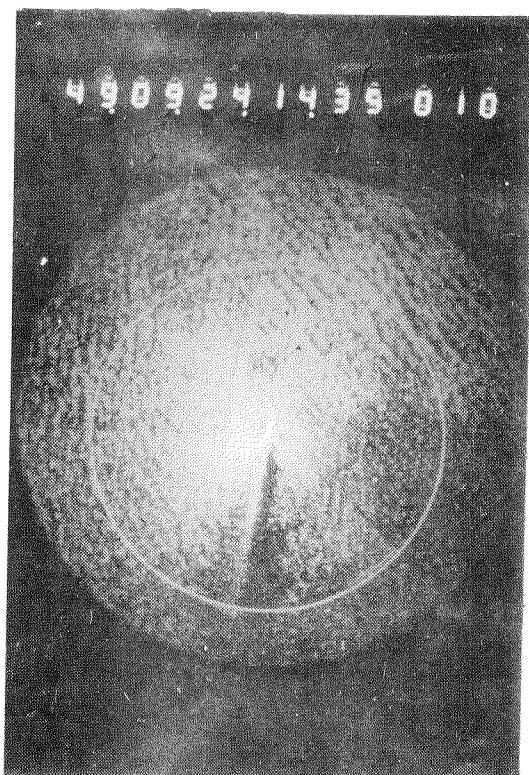


写真5　47年4月4日　14時50分
観測風向　270°
観測うねり方向　150°

ている。高レベルⒶとⒷが入力信号の多いもので、波のくる方向をレーダ・アンテナが向いたとき、低レベルの方向は波の背をみたものである。ⒶⒷ間の丁度中央に本来ピークがくるべきであるが、この解析例では追い波でその部分がマストの陰にあたり、急激に入力信号が落ちたために歪んでいる。

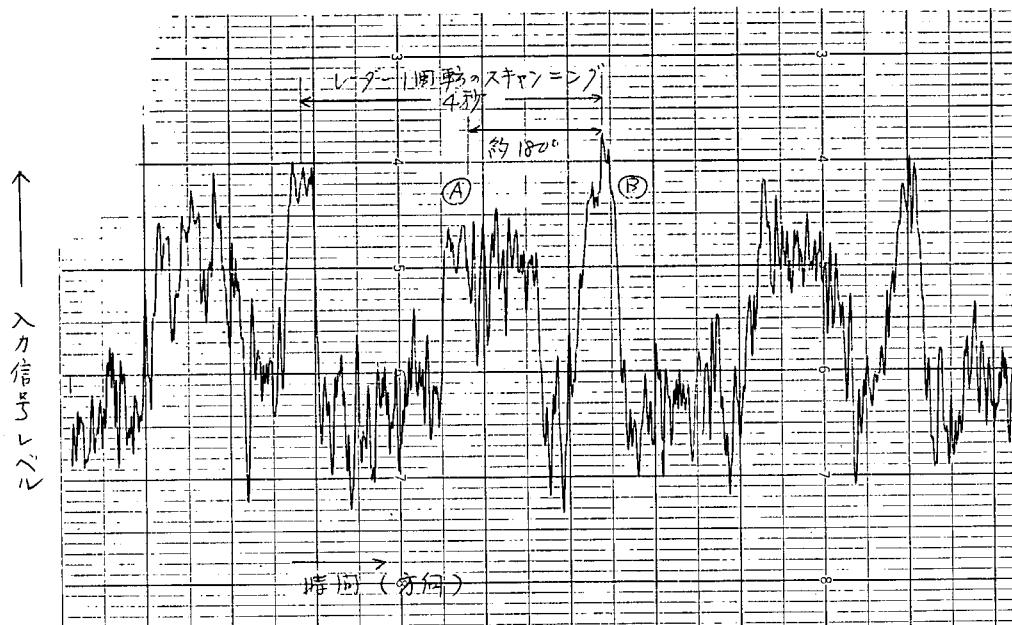


図 2 波 向 解 析 例

レーダ方位信号とこの解析結果から波向の自動推定は可能であるがそれは風浪の方向となる場合が多く、PPI映像写真から眼でみた場合は2.2で述べたように風浪とうねりの区別も可能であり、やはり眼によるパターン認識には及ばない。うねりの方向を決定するにはパターン認識技術の向上発展を期待しなければならないだろう。

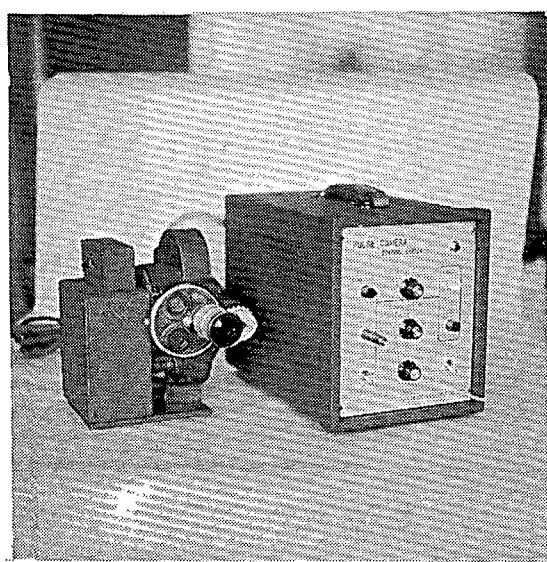


写真9 パルス・カメラ装置

6.3. レーダ映像の動的観察

PPI映像の連続撮影写真的アニメーション手法による動的観察を計画し、本年はその連続撮影を行なうため16mm用のパルス・カメラを製作した。

本装置を写真9に示すが、任意のコマ数とシャッター速度をうる制御部とそれにより制御される機構をもつ16mmカメラより成り立っている。またレーダのPPI映像の回転周期が機種により一定でないため、レーダの船首方位輝線が光つたとき、そのパルスでフィルム送り、ならびにシャッター開閉が行なわれる機構もついている。

この投影について、通常のプロジェクターでは16駒、24駒のフィルム送りの機能しか備えていないものが多いが、それではレーダ・PPI像の回転、すなわち4秒

とか3秒間の映像が一駒となるこの研究目的のフィルムでは映写時間が短かすぎ、現象を把握できない懸念が生ずるので、16コマ以下でも映写できる映写機が必要である。この場合シャッターの開閉がおそくなり、画面のチラツキが多くなるので、チラツキなしに映写できる解析映写機「フリッカーレス」を使用する。

笠木山丸よりレーダ波向記録装置一式を12月7日に陸揚げし、昭和50年1月にこれの再組立を神戸商船大学で行ない録画すみの磁気テープを再生し、そのモニターレーダのPPI映像を撮影、その動的観察にとりかかつた。

動的映像をここに示しえないが、所期の成果を収めた。レーダPPI映像に波峯線らしきものが現われるが、この動的観察では、波の峯がある方向からあたかも船に吸いこまれるように視認される。

この動きが明確に認識されるコマ数は1秒間8～16コマであつて、4～6コマでは全体的な動きを把握にくい。4秒間で1コマとなるPPI映像を1秒間16コマで映写すると、64倍の速さとなるので、15分間程度の磁気テープ記録では約15秒間の映写で終つてしまうという欠点はあるが、船と波峯線との相対的な動きはこの動的観察で非常によく理解され、波向解析の有力な手段となりうるであろう。