

日本船舶振興会昭和48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. 193

第 1 3 2 研 究 部 会
実船搭載用波浪計に関する研究
報 告 書

昭 和 49 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48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）	
幹事	泉 晃（三菱重工業）	井上 篤次郎（神戸商船大学）
	岩柳 順二（船舶技術研究所）	植竹 信次郎（日立造船）
	雁野 昌明（日立造船）	高石 敬史（船舶技術研究所）
	高橋 幸伯（東京大学）	竹沢 誠二（横浜国立大学）
	田口 賢士（大阪府立大学）	細田 龍介（大阪府立大学）
	前田 久明（東京大学）	光易 恒（九州大学）
	山内 保文（三井造船）	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）
	望月 光易（三井造船）	山口 雄三（住友重機械工業）
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. 研究調査の概要	1
2. 水圧式波浪計(Ⅰ)	3
2.1 実用化試作機	3
2.2 実船実験用波浪計(含受信部)	4
2.3 むすび	6
3. 水圧式波浪計(Ⅱ)	9
3.1 波浪計の改造点	9
3.2 ランチャー	9
3.3 実船試験	12
4. レーダー波向計	17
4.1 緒言	17
4.2 レーダーによる波向観測システムの概要	17
4.3 波向解析法の調査	19
5. その他波浪計	25
5.1 クローバー型波浪計	25
5.2 加速度パイ型波浪計	36
5.3 反射型波浪計	37
5.4 レーザ波浪計	41
6. 実船計測	45
6.1 進徳丸における計測	45
6.2 笠山丸における計測	58
6.3 S R 1 2 5 関係実船実験	69
6.4 レーダー波向観測について	72

1. 研究調査の概要

昭和48年度は才1回進徳丸実験結果の検討を含めて前年度にてられた方針に従い、波浪計2種と波向計測システムの製作を行ひ、総合実船試験にあひて波浪計測の用に供した。

才1回進徳丸実験(48年2月)にあひて計測された波浪情報の比較検討から水圧型波浪計2種と投棄用として実用を決定し、レーダー波向計についてもそつ仕様を定め、11月には実船上で使用する予定で設計製作を急いだ。水圧型波浪計の1種(大阪府大・神戸電波)は笠木山丸に、他(重大生研・久保田気象)はコンテナ船に使用がたり、ランキヤーの型式、台数もこれに応じて決定が行われた。

準備の都合上才2回進徳丸実験は海上平穏な7月に敢て行われ、落下時の衝撃を主とい各種作動性能確認のためのテストが行われた。このテストで発見されたいくつかの欠陥はその後の努力によっては改善された。

総合実船試験は当初の予定より回数が増加し、48年度中に3回、49年度に2回行われることとなり、才1航は48年12月15日神戸出港、49年1月8日歸港した。第2航は1月15日出航したが、オーストラリヤマストがあり、若干躊躇あくれた。ひとづづみず3航が行われる。これらの実船試験でえられた波浪情報は子とめて后日数値解析が行われるが、才1航の結果では70%の成功率を示して居り、かなりの成果がえられたものと考えていい。

一方SR 12.5によつて行われたコンテナ船による実船計測に用ひられた波浪計もほぼ同程度の成功率で、最高7m(目視)程度の波浪をとらえることできた。

- 上記のように本部会が当面の目標とした実船用投棄型波浪計の製作につれて、一応その責を果すことができたが、この間下記の事業も並行して行われた。
(1)クローバー型波浪計については方向ジャイロに候選を加えるとともに、これまでにえられたデータ解析に力を注ぎ、方向スペクトルについて新しい知見がえられた。
(2)反射型波浪計について上下加速計を改良し、また地上試験を行つた。

(3) レーザ波浪計についての性能試験と併び、太陽光発電が無視できるよりはるかに効率的。乱れた水面で実用可否ためには位相計の応答速度をあげる必要があること、単位時間内のハertz数を増加するためビーム径を拡大するのにより、となどが明らかになつた。

主たる波向計測システムについては PPI 影像、A スコープ波形等の情報の解析表示について研究と改良がすみやかに行われた。このシステムは前記各種波浪計と併用可能であり、またそれによつて従来得られなかつた、空間的括りをもつ情報と時間ベース情報との結合が可能となり将来の発展が大いに期待される。

本年度は S R 124との連繋が特に必要であったので、幹事会は共催と方々に多くかかつた。また総合実船試験には残務のみでなく、担当者が乗船して計測に参加した。

2. 水压式波浪計(I)

水压式波浪計(大阪府立大学-神戸電波株式会社)の波浪計の性能および記録の方式に関する技術的検討は、昨年夏、試作段階において実施された一連の諸試験によってその各部分ごとに進行がなされたが、最後に総合的性能試験として進徳丸による実用化試験(6.1.1 参照)により、本形式波浪計の波浪観測システムとしての実用化の目途がたつこととなった。

今年夏は、昨年夏の結果に續き、抜げず型波浪計の実用化試作機の作成とその試験をはじめとして、実船実験用波浪計の製作と、波浪計の周辺機器であるアンテナの製作および記録部と受信機の調整にあたつていたが、昭和48年9月～11月の間に、順次実船実験に対する準備を終了した。

2.1 実用化試作機

実用化試験の経験により、試作波浪計について更に以下の各項に留意しつつ改良を施し、これを実用化試作機とした。すなわち

(a) 機構部

軽量化。水面における姿勢の安定化。センサー収納部の構造の改良。

(b) 電気部

送信可能時間の増大。送信可能範囲の向上。受信アンテナの改良。
等を考慮して実用化試作機の製作を行った。

2.1.1 諦試験

上記製作段階において次のテストを実施し、その信頼性向上を計った。

(1) 衝撃性試験 (昭和48年5月25日、於川崎重工技術研究所)

すでに進徳丸の一回計測(6.1.1 参照)において高さ12mの落下テストに耐えられたが、実船の航走中の落下衝撃を考慮して、各姿勢からの落下テストを実施し、軽量化に伴う強度の低下に備えた。川崎重工・技研の「水面衝撃用落下試験塔」より、最大12mより落下テストを繰返し実施した結果、底部および横部よりの着水では所々異常はなかったが、頂部よりの着水では、アンテナ取付部付近のビニールが衝撃により陥没した。従って、実用化試作機での樹脂材料・強度に対する変更を行った上に、アンテナ収納部および電池収納部の強度部材を構成し、波浪計頂部の補強を行った。

(2) 電気的および機械的試験

2.2 参照

(3) 実船による諸試験

(a) 巡視船“玉3号”(田辺海上保安部)による投入テスト

58年7月3日と7月4日の両日、田辺港沖合海面にて波浪計を投入し、試作機の性能を確認した。当日は海上静穏にて、波浪記録をうすに刻つていたが、電波は30km以上到着した。

(b) 第2回進徳丸計測 (6.1.2 参照)

58年7月9日～7月12日の間に本州南岸沿岸で波浪計の確認実船実験と進徳丸上において実施した。この結果から波浪計本体を補強する必要があるためだ。

2.2 実船実験用波浪計（含受信部）

実船実験用波浪計は委員会の決定により60台製作と定められた。そのうち20台は、笠木山丸(SR-124実験船)実験スケジュールが練り上がつても2ヶ月間で合意通りに急いで製作された。

2.2.1 諸試験

上記製作中乃至は完成後にかけて次の各テストを実施した。

(1) 落下試験 (於神戸商船大学ボンド)

波浪計を高所より落下させ、落下後に目視および機能に異常がないかを検査した。この結果、高さ12mまでは、カナード落下姿勢に対して、目標に上了外傷はない、かつ変調および発信に異常を示さないことがわかった。更に高さ15mよりの正常姿勢(底部より着水)での落下につれてても全般的に異常なく、かつ着水後は順調にセンサーおよびアンテナを伸展し、本機の耐衝撃性はほぼ満足すべきものと判断した。一方、8mより落下させたときの衝撃加速度の実測値は次の値である。

1. センサー格納部	51g
2. 送信機取付部	46g

(2) 電気的試験

各種の試験成績表を作成した。波浪計本体および波浪計の含む総合特性も、本部会の研究目標に合致するものと認めた。図2-1は本機の出力特性を示す。

(3) 機械的試験 (於大坂市立工業技術試験所) (図2-2 参照)

(a) 送信部

(a-1) 振動試験 …… 100Hz, 0.1% / m, 1時間に対する出力は異常を示さない。

(a-2) 耐衝撃試験 …… 衝撃加速度 100g を2回印加、出力は異常を示さない。

(b) 截圧部

(b-1) 振動試験 …… 100Hz, 0.1% / m, 1時間に対する出力特性は変化なし。

(b-2) 耐衝撃試験…衝撃加速度 100g を 2 回印加、出力特性に変化なし。

(c) 波高計本体(総合試験)

(c-1) 耐振動試験… 1200 cpm, 12 分、又時間に付し出力に異常をみとめず。

(c-2) 落下試験 … 無事

2.2.2: 波浪計仕様 (図 2-3、図 6-1-3 参照)

本波浪計は直径 500% の球形であり、外皮は ABS樹脂である。船舶から人力またはランチャーレによって投入されると、海水スイッチが作動により、アンテナおよびセンサーケーブルは自動的に伸展して、下方に記録室含めた電波と本船に発射を始める。

送信可能距離 15km 以上、送信可能時間 30 分以上であり、送信終了後(送信時間調整可能)は 48 時間以内に自沈する。

- 仕様 -

測定方式	水压式
検出素子	ダイヤフラム差動トランス
信号方式	パルス変調によるデジタル方式
データー数	1CH, 10進2桁
使用周波数	43.85 MHz
送信範囲	15km 以上 (空中線出力 3W)
送信時間	30 分以上
応答性	5Hz
測定波高値	± 10m
センサー部水深	50m
最小分解能波高値	測定可能波高値の ± 1%
重量	約 20kg
内部電源	アルカリ電池 12V

2.2.3 受信装置(図 2-4 参照)

受信系は、受信機、自動テープフィード、紙テープ穿孔機、アナログペン書きコードよりなる。

受信信号は、増中器を通じて復調され、復調されたパルス信号とコードコンバータにて統一符号化され、紙テープ穿孔機により紙テープにデジタル記録される。復調されたパルス信号は、アナログ变换されてセンサには磁気テープにアナログ記録が可能となる。自動テープフィードは、紙テープ記録と後日計算機で解析するに便利なよう紙テープ穿孔機と一同の記録が同一制町(うどん)にしてある。以上全体として、受信装置は観測の能率を擧げようとするに便利に改造された。受信装置の仕様は昨

年次にその大体を紹介したので今回は省略する。図2-5は本レステムによる受信記録の一例である。

2.2.4 ランチャード

実船計測にあたり、波浪計投入時の危険な作業を防ぐかつ計測の能率を向上させるためにランチャード計画と昨年交り検討してきた。その後、数次の幹事会における設計素案の改訂のうち、波浪計と計測室からの指令により自動的に海中に投入する装置を作成するに至った。

本機は最大数4ヶまでの波浪計を搭載し、指令によつてその1ヶが安全かつ確実に海中に投入される。波浪計は傾斜した翠島の天井にあたるレールから波浪計頭部に装着された滑車により吊されていて、指令とともに重力によつて船尾に向つて傾斜したレールを滑り空中に放出される。

翠島は全長2400m、全幅60m、最大高さ(前端部)14.7m、最小高さ(後端部)7.0mであり上部は波浪計保護のために鉄板のカーバッフルである。本機は48年12月実験船笠木山丸の船尾甲板の中心線上に取り付けられた(8.2参照)。

2.3 動作試験

実船実験用波浪計は、当の20名を48年10月完成し、当のうち5名を抜き取り、内部の構造検査のうち、神戸商船大学ボンドにおいて、それとれ高さ13mよりの落下テスト(正姿勢)を実施した。発信につけてチェックして、そのいずれも落下衝撃に耐え正常に作動してしまったとみられた。また、ランチャードについては、製作会社において多数回の動作テストを実施した後は笠木山丸に装着された。

残部の波浪計40名はつづいて11月中旬に完成し、その一部は、又交にわたり神戸商船大学深江丸より実際海面に投入され、その耐久性能の確認を行ひつつ笠木山丸へ積み込み待つた。なお各機ごとに試験成績表を添付した。本波浪計に問題なしといふ、例えば更に小型化するアラシ、耐衝撃性を向上させたために、材料の吟味と構造様式の改良等があり難いものあり。しかしガラス、セニサー部分、信号処理方式等においては投げすて型波浪計としては一応の成功を収めたものと思われる。今后も二種の研究が繰りうれることは望むものである。

終りに本機の開発に当りご協力いただいた神戸商船大学深江丸関係者、川崎重工技術研究所の関係の方々、田辺海上保安部関係者、巡視船“まこと”乗組員の皆様に厚くお礼申し上げる。

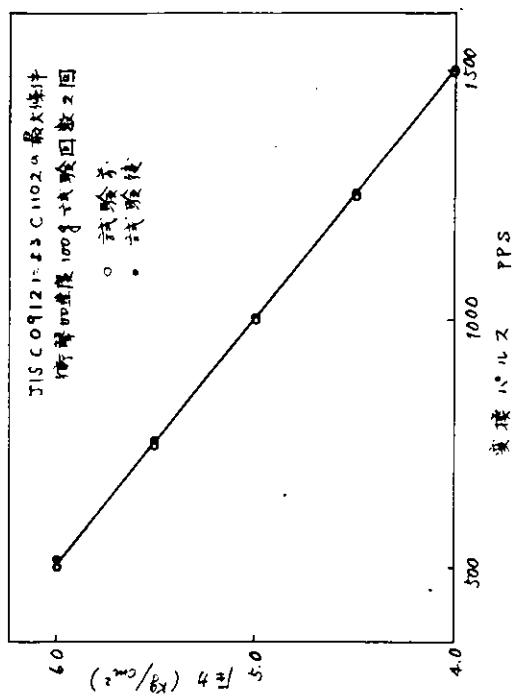


図2-2 衝撃試験の結果

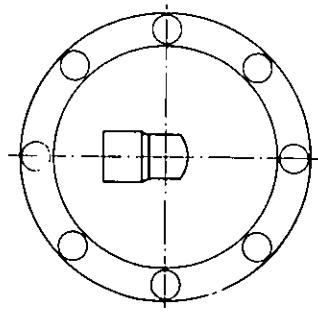


図2-3 压力検出器

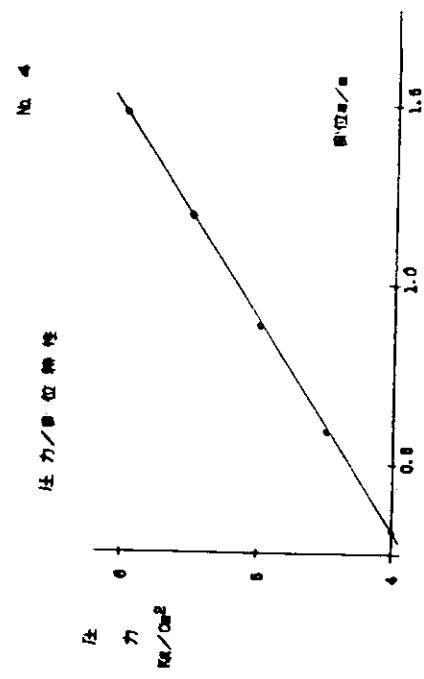


図2-4 運動量特性

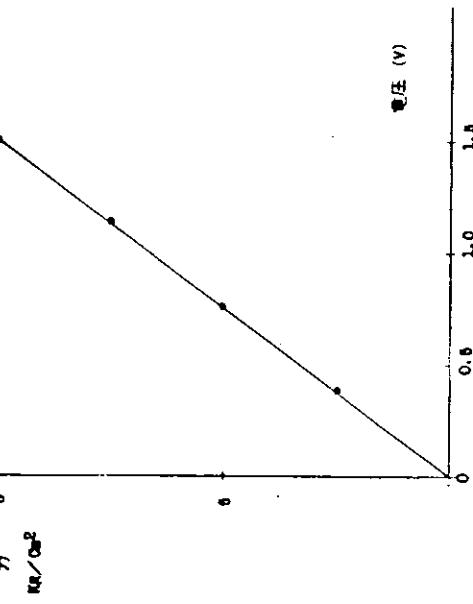
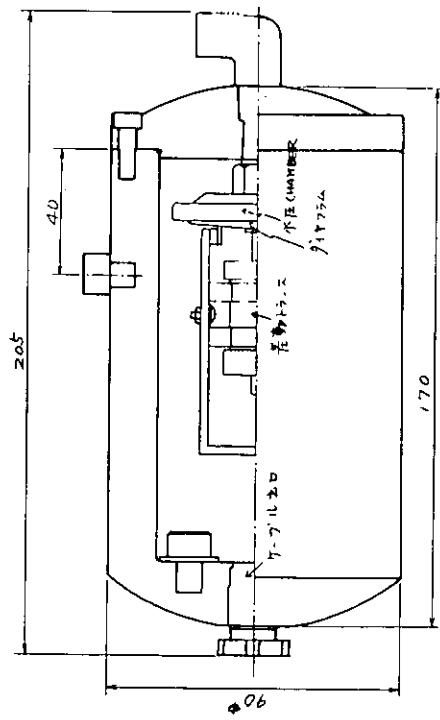


図2-5 波浪計の出力特性



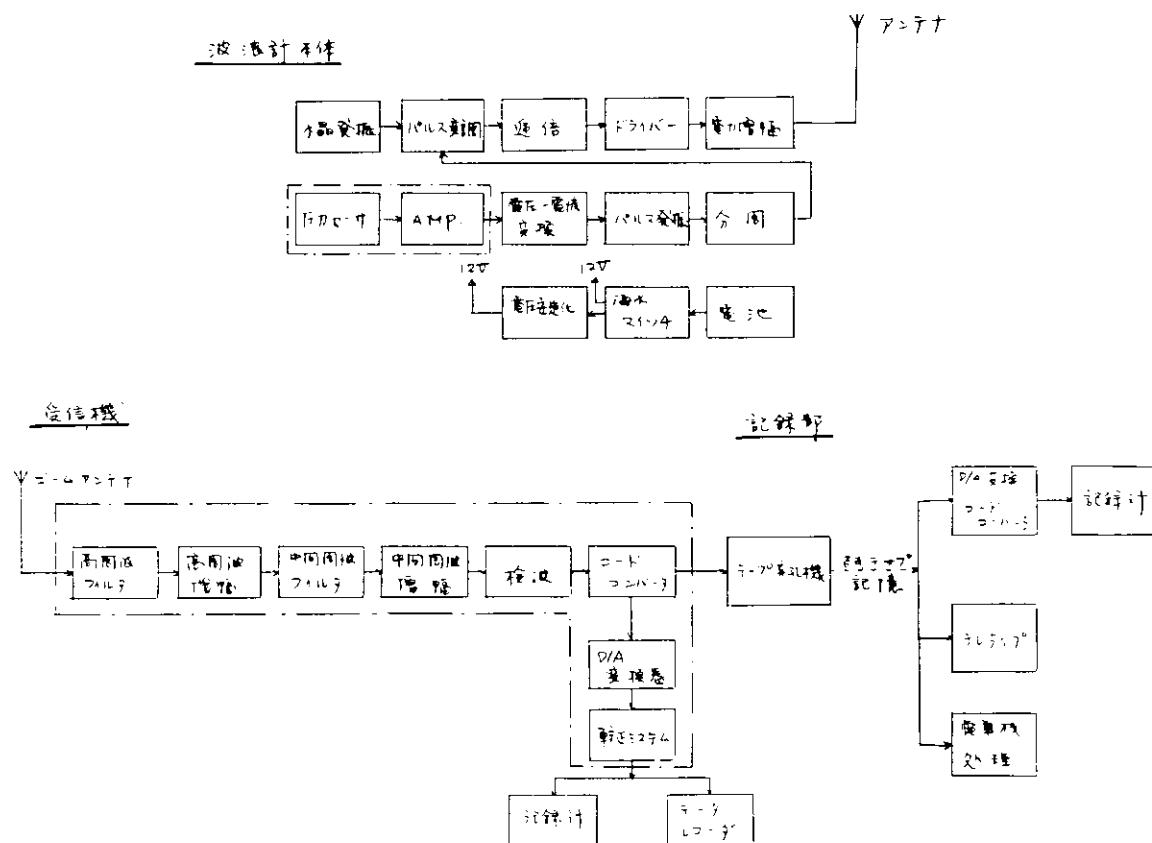


図 2-4 波浪計測ブロック図

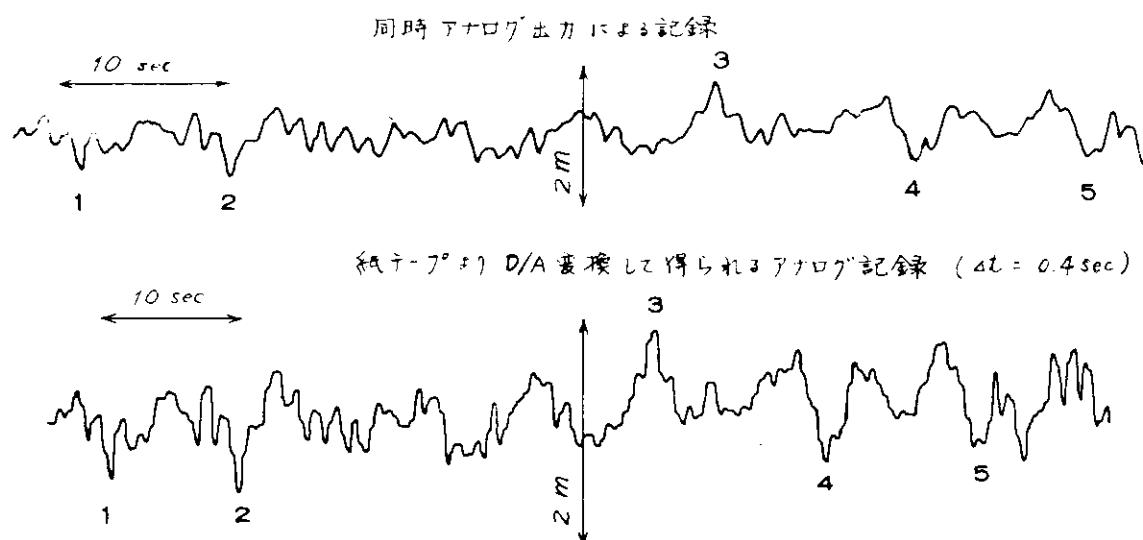


図 2-5 記録の再現性

3. 水圧式波浪計 (II)

水圧式波浪計 (II) の概要については既に昭和47年度研究資料No.177に報告している。昨年度の報告では波浪計、実測記録に高周波成分が含まれるといふ、電波到達距離が充分にとれずなど、不具合の点が見られた。今年度はこれらを改良したので改造点と、電波到達距離に関しては昨年度、報告にある改造を行なった波浪計による実船試験結果を報告する。また今年度試作した波浪計ランチャーの概要について報告する。

3.1 波浪計、改造点

3.1.1 水圧検出部

ゲインの上下動によつて生ずる水圧変動の検出部を波浪計、軽量化をはかるために長さ14cm、直径3.5cm、重量0.9kgとしたが波浪記録、スペクトル解析結果より高周波(短周期)側の成分が比較的大きいいため、最終的に長さ16cm、直徑5cm、重量2.3kgとした。(3.3.1項参照)

3.1.2 吊り下げケーブル

吊り下げケーブルの長さ、即ち水圧検出部の水深を75mから50mにした。これは水圧検出部の重量を再び重くしたことによりケーブルが断線する危険性を防ぐことと、水圧式波浪計(I)による実績からケーブル長さが50mあれば充分に所期の目的を達成すること、およびわずかではあるが波浪計の軽量化に寄与すること等による。

3.1.3 送信回路部

水圧検出部の圧力センサーに一部製作仕様上の変更があったことが後に判明したため、ケーブルのシールド線と圧力検出部のシールド線とを切り離した。また信号通達距離は仕様を充分に満たしていたが余裕を持たせるため送信出力を0.75Wから1.0Wに増した。これにより電波通達距離は約20kmに伸びた。

3.2 ランチャー

3.2.1 仕様

昭和47年度に試設計したランチャーについて実用化の検討を重ね、図3.2.1.Aに示すものを試作した。コントロール方式に変更はなく、ランチャーの投下方式をスベリ台式からバネによる放り投げ式に変えただけである。実船実験では3台のランチャーを1組とし船尾左右両舷に各1組づつ並べて取り付ける。ランチャーのブロックダイヤグラムを図3.2.1.Bに示す。Control Boxとランチャーの間にJunction Box(以下J/Bと略す)を入れたのはそれらの間のコードの船内配

線を考慮しコントロールの信号の送受のみを行なわせるためである。

これらの動作は下記の要領で行なわれる。

傾斜した発射台に波浪計を載せ、開いたホルダーの中にそのまま押し込めばホルダーが波浪計の胴管を抱えこんで閉じ、波浪計と発射台を保持する。この状態で波浪計の電波発信スイッチを入れる爪が波浪計のスイッチリミングの中に入ってしまい、セットは完了する。

コントロールボックスでは

- (1) Junction Box の電源の ON, OFF
- (2) 波浪計の電源を入れるソレノイドマグネットの ON, OFF
- (3) ホルダーを開くソレノイドマグネットの ON, OFF

の操作が行なわれ、(1)を ON にしたとき JB に電源が入りリレーの作動が OK となる。

(2)を ON にするとソレノイドマグネットの力でてこを利用して爪が波浪計のスイッチを引き上げて電波が発信される。(3)を ON にするとホルダーを支えている金具がソレノイドマグネットによって引抜かれてホルダーが開き、バネの力で発射台が起き上がり載つていた波浪計が放り出される。コントロールボックスのパネル面には(1),(2),(3)の操作を確認する Answer Back のランプが点灯するようになっており、内部回路は(1),(2),(3)の順序で ON にしたときだけ動作するように組まれている。したがって誤まって(3)、Push Button を ON にしても波浪計は投下されない。

3.2.2 振動試験

船体振動によるランチャーの共振の有無を調べるために振動試験を行なった。

3.2.2.1 試験方法

加振機上にランチャー 1 台を載せ上下方向に加振し各部の加速度を測定した。初めに試作ランチャーでテストを行ない、その結果実船試験供試船の振動数と

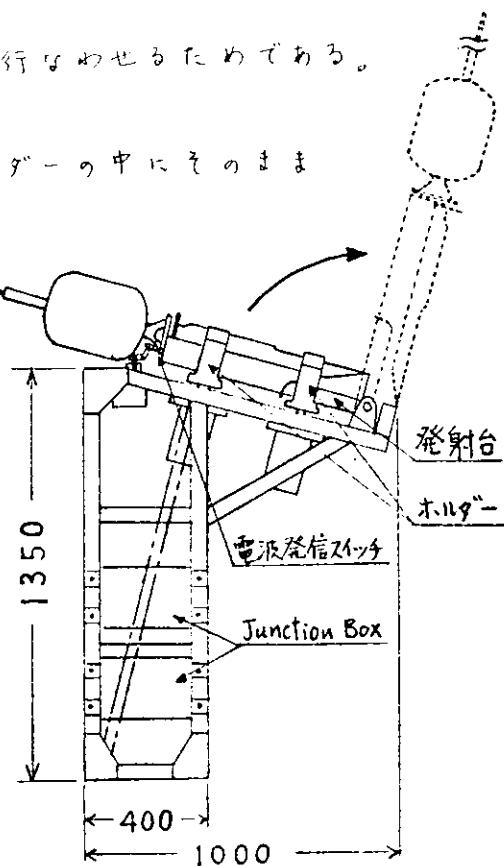


図 3.2.1.A ランチャー概略図

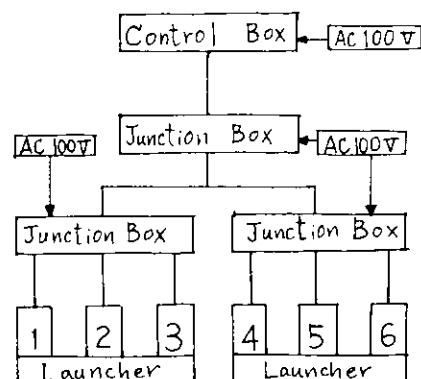


図 3.2.1.B ランチャープロックダイヤグラム

ランチャーラの固有振動数が近い場合はランチャーラに補強材を溶接して共振を避けるようにした。テストの内容と結果のグラフ符号を表3.2.2.1に示す。加速度計の取り付け部と測定方向は各グラフに略図で示す。

表 3.2.2.1. ランチャーラ振動試験

試験内容	加振周波数	振幅	波浪計	補強前後	グラフ符号
ランチャーラの耐振性	2 ~ 18 Hz	±0.1mm	有	前	図 3.2.2.1.A
	4 ~ 20	±0.1	有	後	図 3.2.2.1.B
	4 ~ 20	±0.1	無	後	図 3.2.2.1.C
	8.6 & 11.5	0~±0.2	無	後	図 3.2.2.1.D
発射テスト	15.5	±0.1	有無	後	図 3.2.2.1.E

3.2.2.2. 試験結果

図3.2.2.1.Aに示すように試作ランチャーラでは12Hz近傍に共振周波数が現われ、今回の供試船のプロペラ翼数とプロペラ回転数から算出した振動数が約

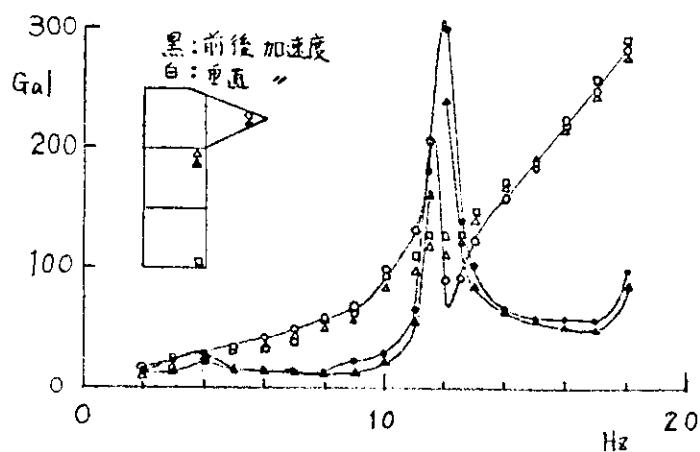


図 3.2.2.1. A

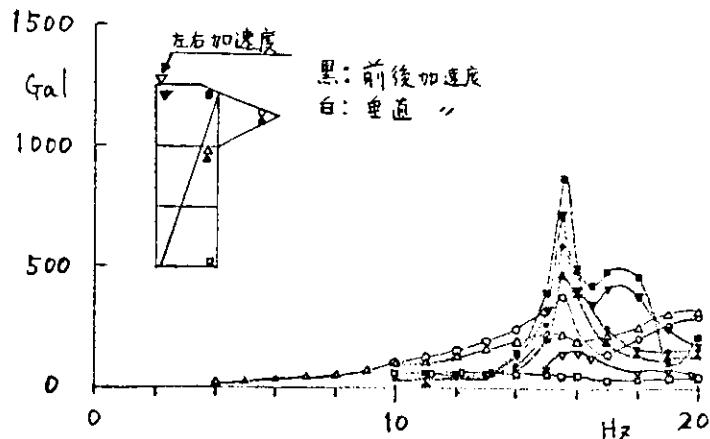


図 3.2.2.1. B

8Hzから12Hzの間にあるため図3.2.1.Aの一点鎖線で示した補強を行った。その結果図3.2.2.1.Bに示すように共振周波数は同じ条件で15.5Hz近傍に移動し、波浪計を載せない状態ではさうに高くなつて17.5Hz近傍に共振周波数が現われて船体との共振を起す恐れは遠のいた。(図3.2.2.1.C)(その状態で補強材の無い場合は13.5Hzに共振点があった)

図3.2.2.1.Dは供試船の上記振動数で振幅を±0.2mmまで変えたときの測定値である。また図3.2.2.1.Eにはホルダ解除のPush Buttonを押して波浪計が発射台を離れるまでの2秒間に中心に前後2秒づつ合計6秒間の測定値を時間をベースに記入した。(加振周波数は波浪計を載せたときの

失振周波数である）。これらの試験中、波浪計、ランチャ一のいずれも破損、故障は皆無であり、波浪計から発信される電波の状態にも全く異常は見られなかった。

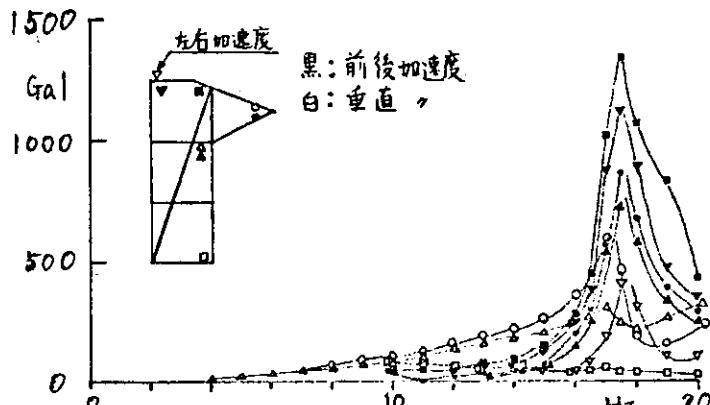


図 3.2.2.1.C

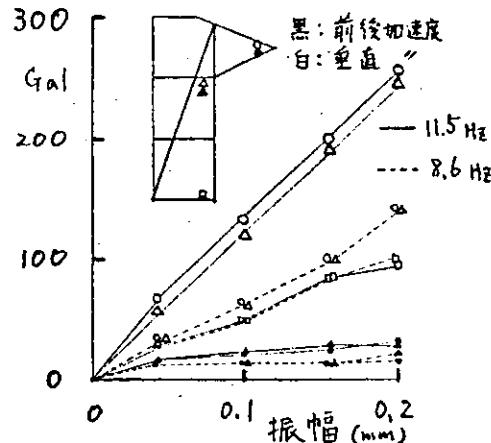


図 3.2.2.1.D

3.3 実船試験

今年度行なった波浪計実用化のための実船試験について概略を報告する。

3.3.1. 啓風丸による実船試験

昭和48年4月20日から22日までの3日間八丈島南東50海里の海域で気象庁所属観測船「啓風丸」に便乗して同船所有タッカ一式波浪計およびPMS式波浪計(水平式波浪計と同一原理)を準器として波浪計測を行なった。この試験の目的はそ

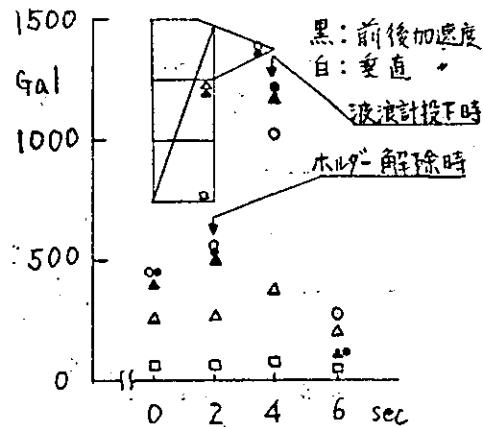


図 3.2.2.1.E

れまでに得られた計測データに目視からは予想できない比較的大きい高周波の成分が現われていたため、ブイの動きと波浪計の記録波形が一致しているかどうかを確認し、その原因に圧力検出部の重さが関係しているか否かを判定することであり、そのためダミーウェイトを圧力検出部に付けてみて本船による測定との程度一致するかを調べることである。試験結果の中から従来の軽い検出部の波浪計による結果を図3.3.1.Aに示す。図から高周波側、成分が大きいこととが判るが、このときの目視と記録波形との対応は明らかに異なりブイの上下動の周期より記録波形の方が短周期の比較的大きな振幅を多く含んでいた。ダミーウェイトを付けたときはそれらの対応は殆んど一致しており、図3.3.1.Bに示すとおりダミーウェイトの無いものより改善されている。この結果3.1.1に述べたように水圧検出部の重さを増加することにした。

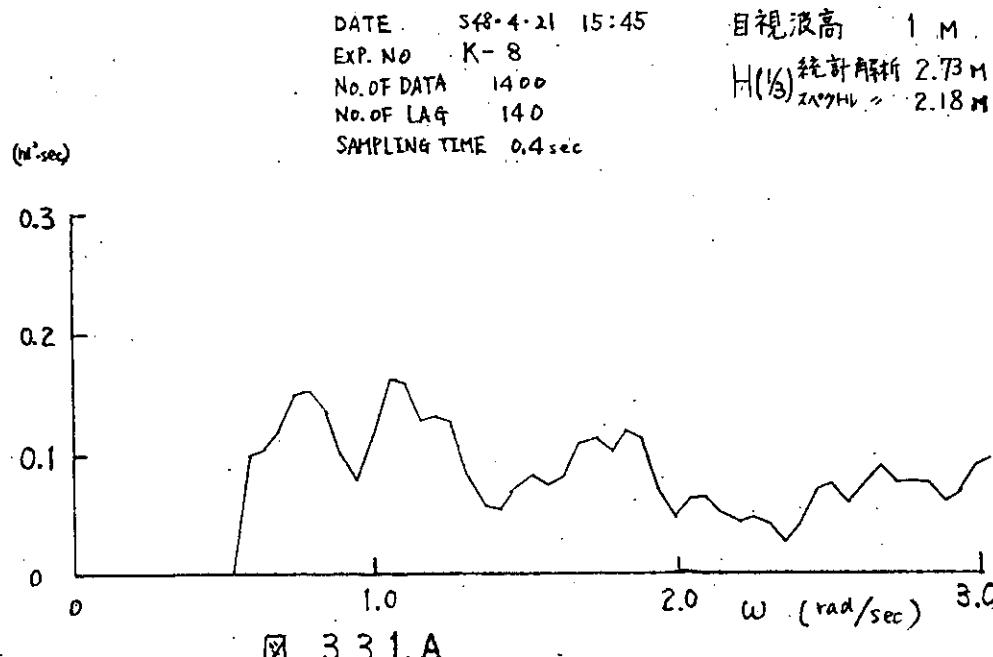


図 3.3.1. A

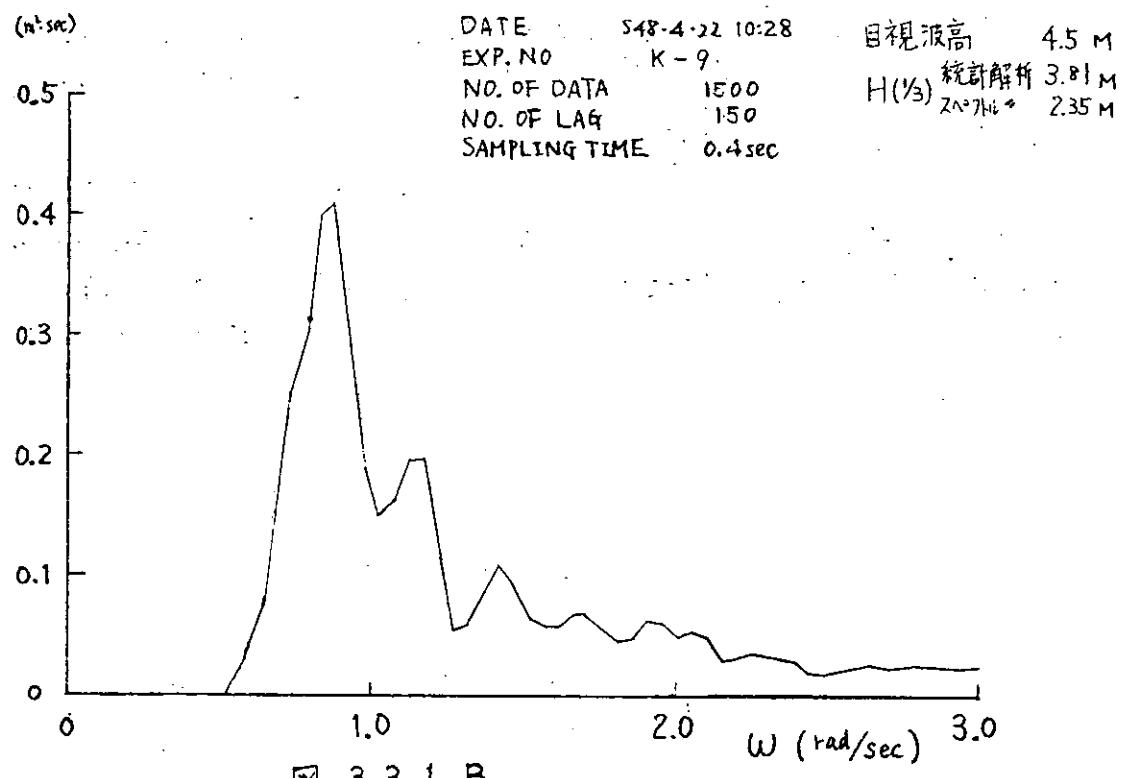


図 3.3.1. B

3.3.2. 濑戸内海における実船試験

昭和48年8月22日備讃瀬戸東航路において船舶航走波の観測が行なわれた際これに併せて波浪計の試験を行なった。3.1.3に述べたような同年7月の進徳丸による試験で生じた回路上の問題点が解決されたためその結果を確認する

ことを目的とした。水圧検出部の深さを10mにセットした波浪計を船から約20m離してつなぎ、連続約8時間の記録をとった。波浪計の記録と目視によるブイの動きとは一致し、また波高も平均20cm、最大50cmで目視と記録とは良く合った。

3.3.3 紀伊水道における実船試験(I)

昭和48年9月13日、紀伊水道で行なわれたトライアルに便乗して実用化の最終段階の確認試験を行なった。3.3.2.において小波高の記録がとれていたので今回は比較的大きいいうねりのある外洋波浪の観測に主眼を置いた。水圧検出部の水深は3.1.2.に述べたように50mとし1基を投棄した。波は波高約2m、周期は5,6秒のうねりで記録波形もほぼそれに近いものであったが投下地点から8km離れた頃から1イスが頻発し実用化に今一つ問題が残された。表3.3.3.aに解析値を、図3.3.3.Aにスペクトル図を示す。

3.3.4. 紀伊水道における実船試験(II)

昭和48年11月16日、紀伊水道で行なわれたトライアルに便乗して試験を行なった。3.3.3.での結果から3.1.3.に述べた出力増加を施して電波到達距離(仕様15km以上)を確認すること、および3.3.3.と同じ内容の波を測ることを目的とした。目視による波は波高1m、周期5秒で波浪計の記録もほぼ一致し、約45分間の記録をとり電波到達距離も20km以上に達し所期の目的を果した。表3.3.4.aと図3.3.4.Aに解析結果を示す。

これまでの試験によって実用上の問題は一応解決したと判断されるが、今後に残された問題点として大波高の中でブイが完全に動いて記録がとれるかどうか、時化での電波到達距離がはたして仕様通りにとれるか、構造上圧力検出部やケーブルの海水中での挙動が不明であるため測定精度がどの程度保証されるか等が考えられる。

表 3.3.3.a

Visual Observation	Direction	P 20°
	Wave Height H_v (m)	1~2
	Wave Period T_v (sec)	5~6
	Wave Length	30 m
	No. of Data	180
	Stand. Dev.	0.77498
	Wave Height (Mean) H_m (m)	1.0466
	Wave Height (Significant) $H_{1/3}$ (m)	2.9420
	Wave Period (Zero cross.) \bar{T}_o (sec)	3.7051
Statistical Analysis	(Peak to peak) \bar{T}_p (sec)	2.3656
	Sampling Time Δt (sec)	0.4
	No. of Data	2048
	No. of Lag	204
	Window	Q
	Lower Limit of Integral ω_L	0.38499 rad/sec
	Higher Limit of Integral ω_H	7.85398 rad/sec
	Stand. Dev.	0.79712
	Wave Height (Mean) H_m (m)	1.9981
	(Significant) $H_{1/3}$ (m)	3.1929
	Wave Period (Zero cross.) \bar{T}_o (sec)	2.33846
	(Peak to peak) \bar{T}_p (sec)	1.18493

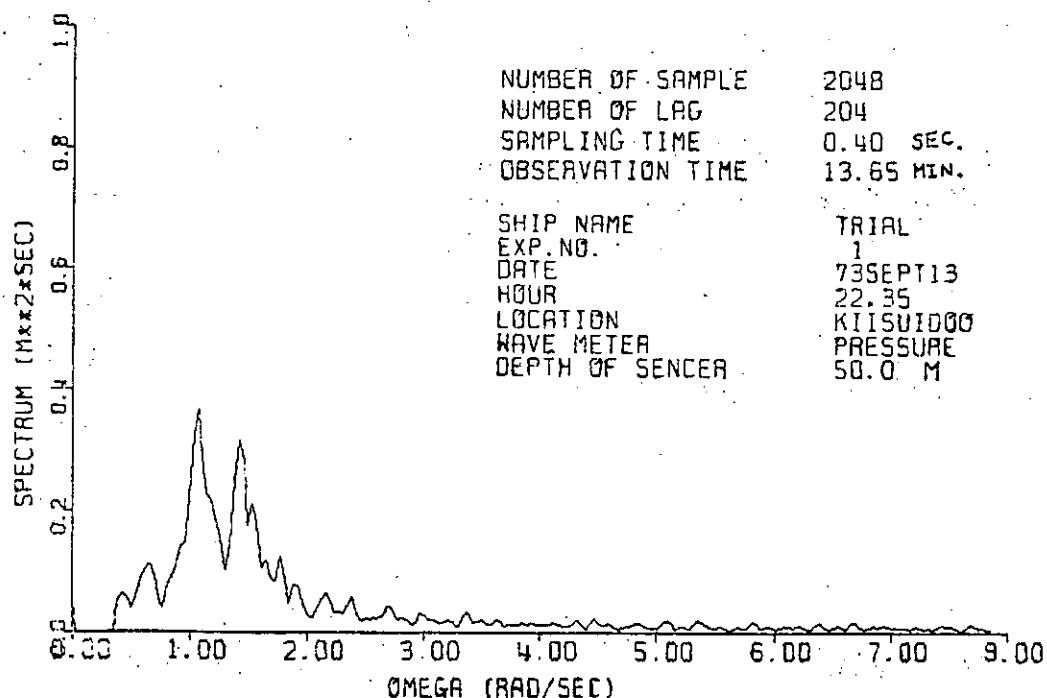
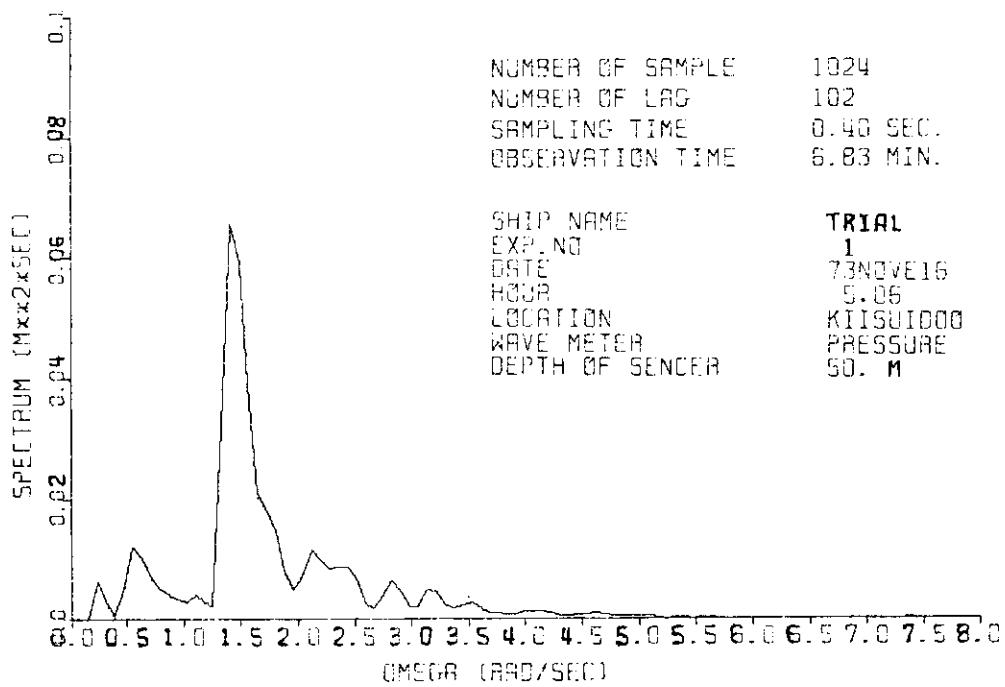


図 3.3.3.A

表 3.3.4.a

Visual Observation	Direction	P. 150 deg.
	Wave Height H_y (m)	0.7 ~ 1 m
	Wave Period T_y (sec)	~ 5 sec
	Wave Length	" 10 m
Statistical Analysis	No. of Data	116
	Stand. Dev.	0.2628
	Wave Height (Mean) H_m (m)	0.6097
	Wave Height (Significant) H_s (m)	0.9687
	Wave Period (Zero cross.) \bar{T}_0 (sec)	3.2805
	(Peak to peak) \bar{T}_p (")	2.1539
	Sampling Time Δt (sec)	0.4
	No. of Data	1024
	No. of Lag	102
	Window	Q
Spectral Analysis	Lower Limit of Integral ω_L	0.154
	Higher Limit of Integral ω_H	7.854
	Stand. Dev.	0.2663
	Wave Height (Mean) H_m (m)	0.6675
	(Significant) H_s (m)	1.0668
	Wave Period (Zero cross.) \bar{T}_0 (sec)	3.1455
	(Peak to peak) \bar{T}_p (")	1.9319



3.3.4.A

4. レーダー波向計

4.1 緒言

レーダーによる波向観測について昭和47年度より調査を開始し、波向観測レーダーシステム案を作成したが、昭和48年度は、本案に基き、実船に搭載する波向観測システムの基準化様を確定し、基準化様に基づき、機器の製作を行った。本事業化様と昭和47年度のシステム原案との主要な相違点は、ビデオテープレコーダーを取り入れたことである。即ち、システム原案に於ては写真記録のみを考えていたが、V.T.Rを採用すれば、レーダー映像と、その子音再現し得るのみ、V.T.Rを併加することとした。

4.2 レーダーによる波向観測システムの概要

4.2.1 システムの機能

本システムは、船舶に搭載された航海用レーダー（以下マスター・レーダーと呼ぶ）に接続して、実船試験中の波浪のレーダー映像を写真及び、V.T.Rに記録し、これにより実海面の波浪の情報を得るものである。

本システムの観測波浪の対象は、比較的船舶の近傍とし、観測範囲1～3浬、観測波長は40～300cm程度を考えておくこととした。又、本システムは、実船試験用の装置であるので、一般の航海計器として具備すべき条件の他に、次の要件を充実必要がある。即ち、(1) 実船試験という特殊環境下（強風、雨、動搖等）に於ても確実に観測し得ること、(2) 特定の船舶大きさではなく、通常の船舶にも容易に装備し得る様にしておくこと、(3) 取扱いが簡単で、保守が容易であることなどである。

4.2.2 本システムの構成

本システムの構成は、オフ4.2.1図の通りである。各機器の機能は以下の通りとする。

(1) レーダー制御切換装置

本システムはマスター・レーダーより信号を受取り、とくなるので、本装置によつて、マスター・レーダーとモニターレーダーの映像のコントロール（ゲイン、FFT、STC）機能の切換えを行い、モニターレーダー側で、コントロールが行はれる装置である。切換のコントロールは、マスター側にて行うものとした。

(2) モニターレーダー

マスター・レーダーより制御切換装置を通して、必要な信号を入力し、ほとんどのマスター・レーダーの拘束を受けずに、波向観測を行いうるレーダーである。本

レーダーは波浪解析用、便びらしめ子為、1度の固定マークアンドビー船首輝線からじて、真方位輝線を持つと支大、ジャイロ信号により真方位（ノースアラウンド方式）表示される。

モニターレーダー上の映像は撮影装置によつて撮影するとき大、録画されたビデオ信号をモニターレーダー上に再生する。

モニターレーダー操作する主たる機能は下記の通りである。

- (1) 電源のオンオフ
- (2) 観測距離範囲の切換
- (3) 輝度調整
- (4) 感度調整
- (5) S.T.C. もよび F.T.C. 調整
- (6) 照明調整

(八) 撮影装置 (モニタード)

- (1) 表示C.R.T. 12"
- (2) 表示データ 年月日時分 及び 方位角
- (3) カメラ キヤノンモータードライブ及び一般カメラ
- (4) モニターモニタード側面よりポラロイドにてモニターレーダー撮影

(九) 信号变换器

本船の船舶時計及び、方位ジャイロよりの信号を变换する。方位ジャイロについては、下記の機器に接続し得るものとする。

10Vステップモニタード
シングル 360×系

(十) 制御装置

制御装置は次の機能を持つ。

- (1) 船舶時計及び方位ジャイロよりの信号を变换器を通じて入力し、撮影モニタード用表示データを出力する。
- (2) 上記に必要な時刻、自動記録時間間隔(10分～10時間)及び連続撮影(5秒/回)を設定する。
- (3) 自動 又は、手動により、外部開閉器の起動停止を行う。

(十一) レーダー映像記録再生装置

信号処理器、録画器、再生器があり、モニターレーダーの映像を記録し、必要に応じてモニターレーダー上に再生する。

以上は、実船試験に際して船上に搭載された。笠木丸にて4.2.2回、4.2.3回と示す。

(十二) 波向解析装置 (オフライン)

V.T.R.に記録されたレーダーの信号、又は、PPI撮影フィルムを、オフラインで処理し、単位時間内の反射信号の数に比例する量と、全方位について、積算、表示し、由此に波向を求める。

(チ) システムによる得られたデータは次の通りである。

(イ) レーダーPPI映像の写真 (時刻及び方位入り)

。 定時記録

。 連続撮影記録 (5秒/10枚)

(ロ) レーダーV.T.R.記録

。 小等のデータは次の手段によつて処理する。

(ハ) 写真及びV.T.R.の再成映像の観察

(ニ) 連続撮影記録を連続映写し、動的観察を行う。

(メ) V.T.R.又は写真を波向解析装置によつて解析する。

なおPPIとはPlane Position Indicatorの略で通常のレーダー映像である。

4.3 波向解析法の調査

レーダーのPPI映像又は信号を処理して波向を測定する方法について、昭和47年度の報告(研究資料177号)に於て、その概要を述べたが、そのうち

PPI映像の連続撮影

反射信号の解析

についての調査、実験結果の概要を述べる。

4.3.1 PPI映像の連続撮影

本システムでは、この撮影装置は5秒/10枚の連続撮影が可能であるので、このPPI映像を連続的に映写すれば、波峰の運動を動態的に觀察し得ると考へてある。そこで、この様な観測の可能性を調査する為、深江丸、道徳丸の実験によつて得られた連続フィルムを、實際に映写して見た。この為には35mmのスチルカメラで取られたライカ版のフィルムを、直接 映写する装置がないので、シネフィルムのサイズ 16mmシネフィルム 7.42 × 10.22 mm
35mmシネフィルム 16.03 × 22.05 mm

大、焼け付ける必要がある。そこでライカ版フィルムを一枚毎に印画紙に焼付け、これを16mm特殊撮影機で一枚撮影して、シネフィルムを作製した。出来上、大16mmシネフィルムと、プロジェクター用の場合、通常の映画用のプロジェクター用の16mm × 24.2mmのフィルム送りのメカニズムが備えられる。PPI映像のフィルムは1コマ3秒で撮影を小出しでやつされ、24コマ、16コマ毎秒では半速で走行されるので、16コマ以下のコマ送りでも、映像のナラヅキなしで再生出来る。解析映写機 フリッカレス900を使用した。

以上の準備によって準備映写し観察したところ、特に、道徳丸の例では風浪とうねりの運動を動態的に観察し得、波向解析に於てこの方法を利用することは有効であることが判った。

今後、この方法を活用する場合にはカメラとシネ用のカメラ(ペルスカメラ)とし、映像を直接シネフィルムに記録する必要がある。

4.3.2 反射信号の解析

昭和47年度の報告(研究資料177号)に述べた方法の可能性を模擬テストによって調査したところ、この有効性を確認出来たので解析装置を試作した。

4.3.2.1 装置の概要

この波向解析装置のプロトotypは第4.3.1図の通りである。即ち本装置は、レーダーアンテナの回転角が例えば $2\sim3^\circ$ 程度のサンプリング時間中に入力される信号の数を積算し、これをD/A変換し、各方位に対する信号数に比例する量をXYプロッタ上に表示する装置である。

本装置の構成は以下の通りである。

(1) 光学的解析部

光学的解析部としてはレーダーPP工撮影写真より光学的センサーでレーダーの反射信号を再生して、その波向を解析する。

(2) レーダー、V.T.R.よりのA波信号による解析部(4.3.3図の如き表示を) Aスコープ

レーダー又はV.T.R.よりのA波信号と同期信号を入力して単位時間の数値信号データーを記憶し、これをアナログ信号に記録出力する。

(3) 記録部

(1)及び(2)の記録出力により、X軸方向にはレーダーのPP工の 360° 展開を表示し、Y軸に波向出力を表示する。

本装置の仕様は以下の通りである。

(1) 光学的解析部

a 解析用PP工撮影写真手法 12インチ

b 光学センサー 2ヶ

c 時間軸出力 PP工1回転につき $0\sim10^\circ$

d 船速検出出力 $0\sim22 \text{ kts}$

e 模擬レーダー変調用波数 800 PPS

(2) レーダー V.T.R.直接受入力部

a 反射入力 レーダーV.T.R.よりのA波出力
電波発信トリガー

b 波峰信号記憶数 カンピュータの内蔵メモリ 2進 12BIT

c カンピュータ時間 36msec 100msec

d 入力レベル
e レコーダー出力

1V 最大
0~10V

IV) 記録計

X-Yレコーダー

4.3.2.2 試作装置のテスト結果

本装置の試作に当りては、その有効性を確認する為に以下の如き模擬テストを実施した。

光学的解析部については、オ4.3.2図に手写様に、回転テーブルの上にPP工の写真を取り、回転テーブルを微速で回転させ、その上部に、発光の光線を出し得る光源を設け、走査するフォトトランジスターが反射光を受けることにより、実際のレーダーで得らし得る信号波と同程度の信号が得られる。写真より再現レーダー波出力波形の一例は、オ4.3.3図の通りである。

二つ様な光学的解析方法による解析の一例は、オ4.3.4 及び オ4.3.5図の通りである。オ4.3.4図は、薄江丸によるPP工影像であり、本装置による解析結果は、オ4.3.5図の通りで、写真の方を観察すれば波向の方向が、オ4.3.5図では、顕著なPeakが観察される。

又、レーダー及び T.T.R.によるテストはデータが少ないのでまだ実施していないが、発振器出力による模擬データによる出力表示をオ4.3.6図に示す。

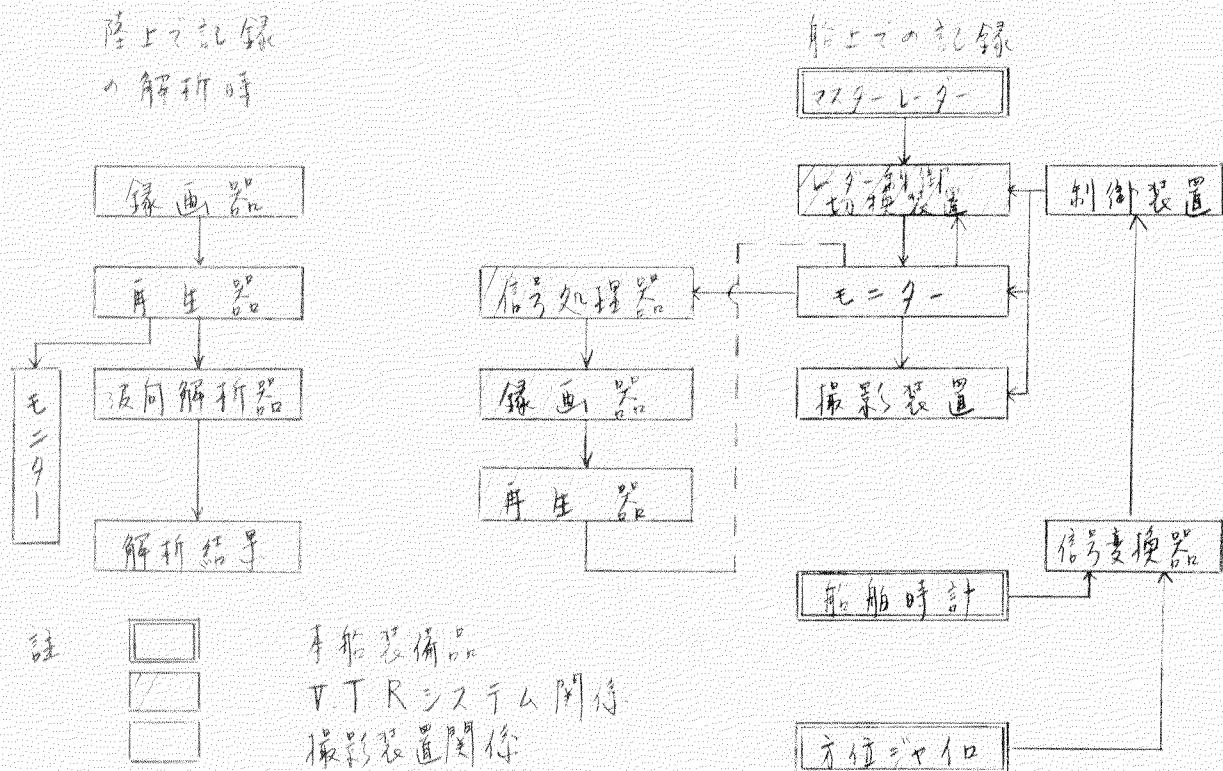


図421 6-9-13 汎用観測システム構成

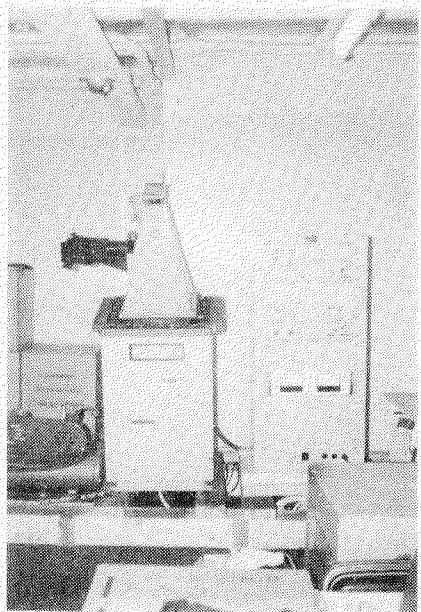


図422 モニタ撮影装置
VTR信号処理開発

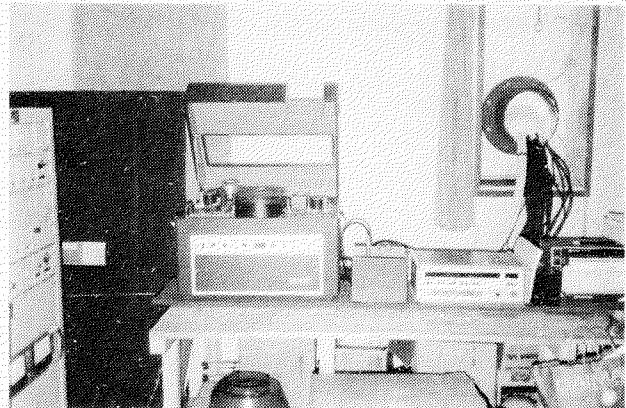


図423 VTR録画装置

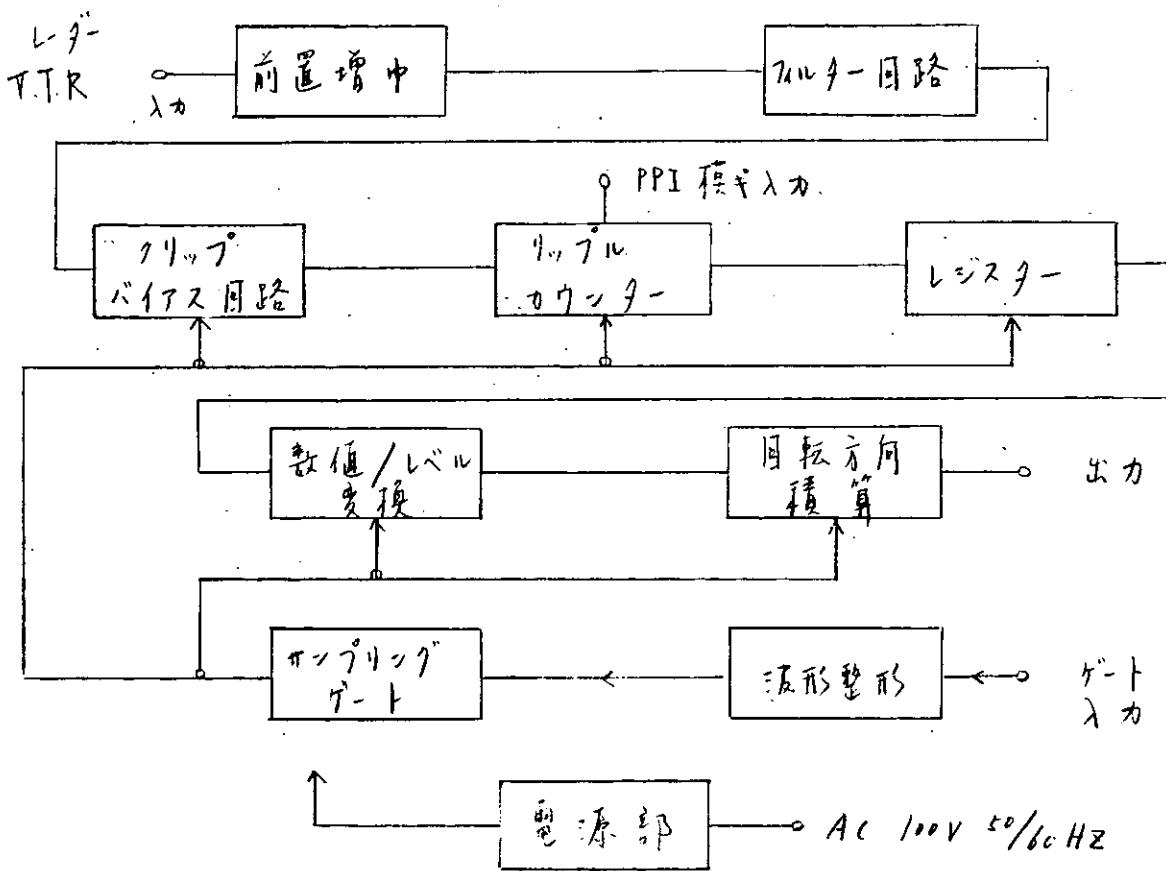


図 4.3.1 波向解析装置ブロック図

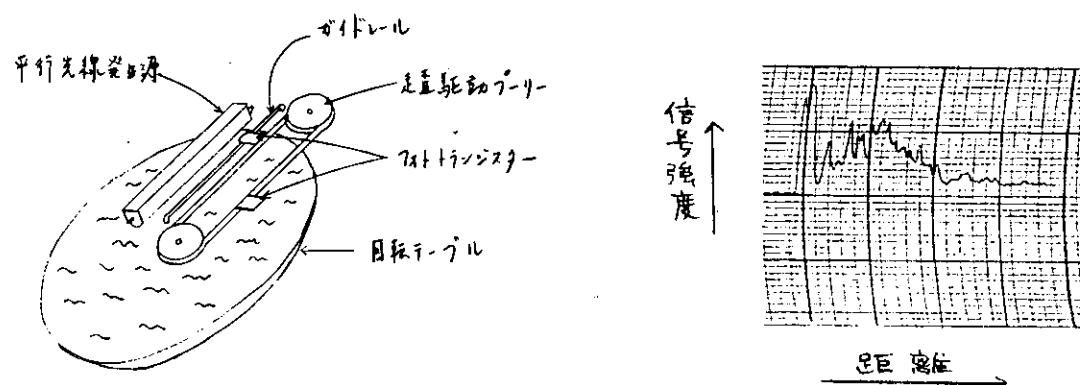


図 4.3.2 光学的解析部模型図

図 4.3.3 波向解析装置の A 波出力波形

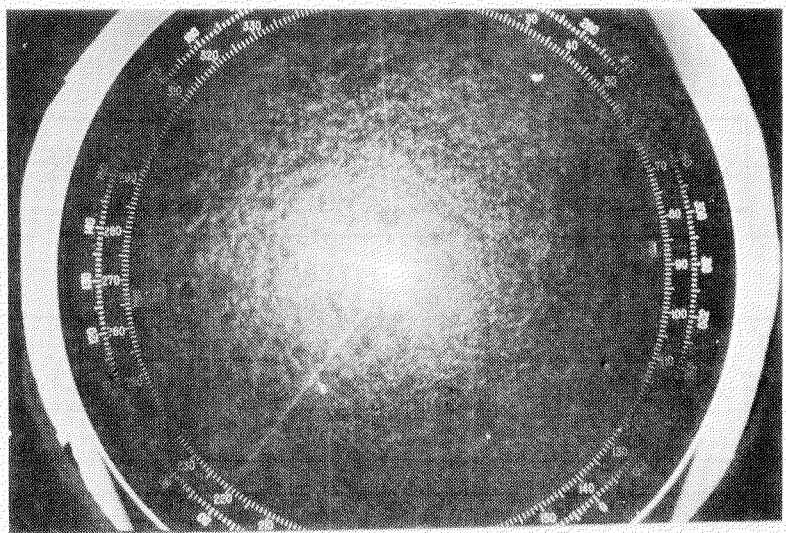


図 4.3.4 ワークドレインPPR系例

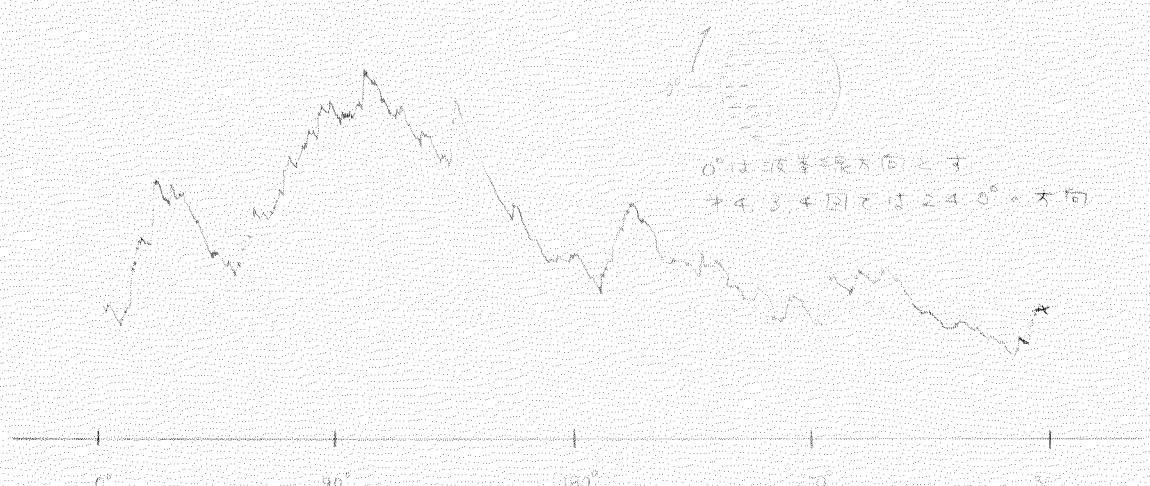
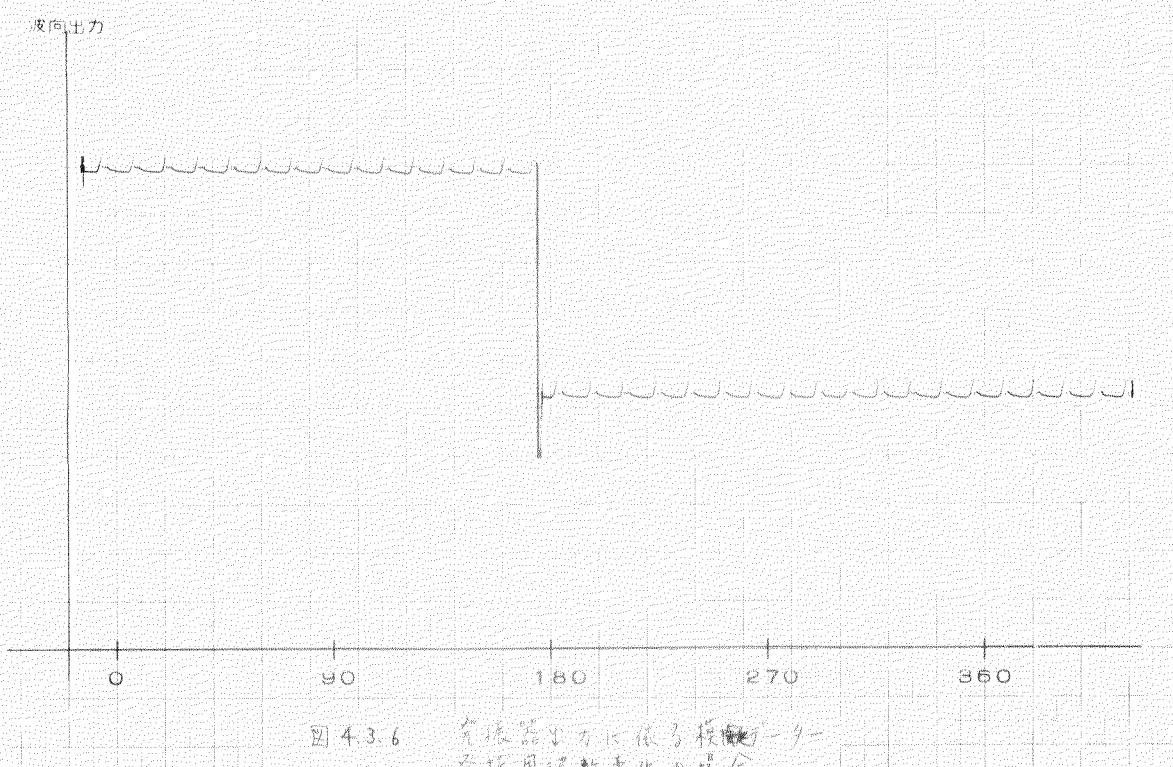


図 4.3.5 図 4.3.4 [0.3m×3m]

5. その他波浪計

5.1 クローバー型波浪計

5.1.1 概要

昭和48年度には、これまでに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に重点がおかれて、クローバー型波浪計の装置そのものに関して行なわれた研究は、コンパスの電気回路の改良である。

すなわち、波浪計で計測された波面の上下加速度、勾配ならびに曲率のデータを解析して、海洋波の方向スペクトルを求める方法、ならびに得られた結果の検討に重点がおかれた。

波浪計のコンパスの改良の内容は次のようなものである。昭和47年度に行なわれたコンパスのマグネットの角度検出用符号板の改良により誤動作は大幅に減少したけれども、出力電圧と回転角との関係が直線的でなくなりた。計算機で処理する範囲では、これは問題ではないが、モニター信号を眺める際これでは不便なので、適当な電気的演算回路を加えて、マグネットの回転角（方位角）と出力電圧との比例関係になるように改良した。

5.1.2 波浪データの処理

(1) 波浪データの解析法

クローバー型波浪計で直接測定される量は、次の6個である。

波面の上下加速度 : \ddot{y} ($= S_1$)

波面の勾配 : η_x ($= S_2$), η_y ($= S_3$)

波面の曲率 : η_{xx} ($= S_4$), η_{yy} ($= S_5$), η_{xy} ($= S_6$)

この他、波の絶対方位を求めるためにブイの方位角 θ が、マグネットコンパスを使用して同時に計測される。

計測された6個の量 S_1, S_2, \dots, S_6 を使用して、クロス・スペクトルが次のように計算される。

$$C_{lm}(\omega) - iQ_{lm}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{S_l(t)S_m(t+\tau)} e^{i\omega\tau} dt, \quad (1)$$

$$(l, m: 1, 2, \dots, 6)$$

ここに

$$\overline{S_l(t)S_m(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T S_l(t)S_m(t+\tau) dt. \quad (2)$$

全部で36個存在するクロス・スペクトルのうち原理的には0になるもの、相互に等しいものなどを除いた17個のクロス・スペクトル要素が計算される。これらのクロス・スペクトル要素は、波の方向スペクトル $E(\omega, \theta)$ をフーリエ分解した係数と一定の関係を有している。ただし、 ω は角周波数、 θ は波の進行方位角である。

方向スペクトル $E(\omega, \theta)$ を

$$E(\omega, \theta) = \phi_i(\omega) \cdot G(\omega, \theta) \quad (3)$$

のように1次元スペクトル(パワースペクトル) $\phi_i(\omega)$ と方向分布関数 $G(\omega, \theta)$ とに分離して考える。ただし、

$$\phi_i(\omega) = \int_0^{2\pi} E(\omega, \theta) d\theta, \quad (4)$$

$$\int_0^{2\pi} G(\omega, \theta) d\theta = 1 \quad (5)$$

である。

$$\pi G(\omega, \theta) = h(\omega, \theta) \quad (6)$$

なる $h(\omega, \theta)$ を導入して、これを方位角 θ に関してフーリエ分解すると次のようになる。

$$h(\omega, \theta) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta] \quad (7)$$

ここに

$$A_n + iB_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} h(\omega, \theta) e^{in\theta} d\theta. \quad (8)$$

このフーリエ係数 A_n, B_n とクロス・スペクトル C_{lm}, Q_{lm} との間には次のようないくつかの関係がある。

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{Q_{12}}{C_{11}} & B_1 &= \frac{Q_{13}}{C_{11}} \\ A_2 &= \frac{C_{22} - C_{33}}{C_{22} + C_{33}} & B_2 &= \frac{2C_{23}}{C_{22} + C_{33}} \\ A_3 &= \frac{3Q_{25} - Q_{24}}{C_{14} + C_{15}} & B_3 &= \frac{Q_{45} - 3Q_{34}}{C_{14} + C_{15}} \\ A_4 &= \frac{C_{44} - 6C_{45} + C_{55}}{C_{44} + 2C_{45} + C_{55}} & B_4 &= \frac{4[C_{46} - C_{56}]}{C_{44} + 2C_{45} + C_{55}} \end{aligned} \right\} (9)$$

従って、クローバー型波浪計で計測される17個のクロス・スペクトル要素より方向分布関数をフーリエ展開した係数を4項まで求めることができ、こ

れより方向分布関数を次のように近似的に決定することができる。

$$h_4'(\omega, \theta) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^4 [A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta] \quad (10)$$

ただし、実際の計算においては、方向分布関数の負の値の出現を防ぐために各項に重み W_n を乗じ、次のような計算が行なわれる。

$$h_4(\omega, \theta) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^4 W_n' [A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta] \quad (11)$$

ここに、

$$W_1' = 8/9, \quad W_2' = 28/45, \quad W_3' = 56/165, \quad W_4' = 14/99 \quad (12)$$

である。

このオ4項で打ち切られた方向分布関数に重み W_n を乗じた $h_4(\omega, \theta)$ は、数学的には真の方向分布関数 $h(\omega, \theta)$ に、重み関数

$$W_4(\theta) \sim \cos^4 \frac{\theta}{2} \quad (13)$$

を乗じたものに対応する。すなわち

$$h_4(\omega, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} h(\omega, \theta') W_4(\theta' - \theta) d\theta' \quad (14)$$

である。

この $W_4(\theta)$ の形は図-1に示されている。ただし、この図にはフーリエ係数をオ2項で打ち切って各項に重みを乗じたもの、すなわち

$$\left. \begin{aligned} h_2(\omega, \theta) &= \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^2 W_n'' [A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta], \\ W_1'' &= \frac{2}{3}, \quad W_2'' = \frac{1}{6} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

に対応する重み関数 $W_2(\theta)$ の形が一緒に示されている。

この $W_2(\theta)$ はピッテ・ロール型波浪計で計測される方向分布関数に対応するもので、具体的な形は次式で与えられる。

$$W_2(\theta) = \frac{8}{3} \cos^4 \frac{\theta}{2} \quad (16)$$

これよりピッテ・ロール型波浪計に比して、クローバー型波浪計の方向分解能がよろかに優れている事がわかる。

(2) 波浪データの処理

各観測点では、これまで約1時間継続して波の計測が行なわれた。アナログ型データ・レコーダーに記録された波浪データを、津屋崎海洋災害実験所に設置された電子計算機システム (DATAC-500および1500データ集録

装置ならびにFACOM 270-20電子計算機を含む)で処理して各種の測定量を算出した。データ処理、特にスペクトル解析の際の条件をまとめて示すと次のようなものである。

- a. サンプリング間隔 : $\Delta t = 0.4 \text{ sec.}$
- b. データ数(1データあたり) : $N = 2048 \text{ ケ}$
- c. データ長(1データあたり) : $T_N = 13.8 \text{ min}$
- d. Nyquist周波数 : $f_N = 1.25 \text{ Hz}$
- e. スペクトル計算 : 高速フーリエ変換(F.F.T法)
 - (i) 素スペクトル線の間隔 : $\Delta f_0 = 1.22 \times 10^{-3} \text{ Hz}$
 - (ii) フィルター(3角形) : $JJ = 20$
 - (iii) フィルター等価帯域幅 : $\Delta f_e = \frac{3}{2} JJ \times \Delta f_0 = 3.66 \times 10^{-2} \text{ Hz}$
 - (iv) スペクトルの自由度 : $レ = 3JJ = 60$
 - (v) スペクトルの出力間隔 : $\Delta f = 1.22 \times 10^{-2} \text{ Hz}$

図-2は、波浪データの処理の流れ図を示したものである。

5.1.3 計測結果

(1) 海洋波の方向スペクトル

結果の一例として、昭和48年2月19日進徳丸に乗船して、玄界灘(玄界島の北約8km)において計測されたデータ550/1,2,3について述べる。

当日は、九州南岸沖に停滯していた前線上を低気圧が通過して、変りやすいぐづついた天気であった。船上の風の観測データによると、少なくとも朝7時頃より6~7m/sのNEの風が観測時まで吹き続いていた。風の観測結果ならびに天気図を参考にして推定すると、観測された波は、6~7m/sのN~NEの風が約24時間継続して日本海に発生した波で吹送距離は1000kmのオーダーと考えられた。ただし、発生域の中心部においては風速はもっと大きく、10~12m/sであるではないかと考えられた。

図-3は、方向スペクトルに関する計測結果を示す。図中、横軸に波の方位角をとり、縦軸には周波数成分別に方向分布関数 $h(\theta)$ が示されている。実線は、クローバー型波浪計の全信号を使用して求められる式(11)で定義された $h_4(\theta)$ を、点線は、上下加速度およびピッチ・ロールの信号のみを使用して求められる式(15)で定義された $h_2(\theta)$ をそれぞれ示す。ただし、いずれも $\int h(\theta) d\theta = \pi$ となるように規格化されている。 $h_4(\theta)$ に比較すると $h_2(\theta)$ は方向分解能が劣るために点線で示された $h_2(\theta)$ が実線の $h_4(\theta)$ に比較して、かなり平滑化されている事がわかる。

この図に示された結果より、波のはとんどの周波数成分の主方向が、NEへNであるが、低周波成分の主方向は、NEに近く、周波数の増大とともに主方向がNに変化する傾向がみられる。また方向分布関数 $h(\theta)$ の形が若干の例外を

除けば单峯性であること、高周波側に移るに従って集中度が低下して、平坦になってゆく事などがわかる。

(2) 方向分布関数の近似形

Longuet-Higgins et al ならびに Cartwright は、ピッチ・ロールブイで計測された方向スペクトルの形に対して、次のような関数形を適合した。

$$E(\omega, \theta) = \phi(\omega) G(S) |\cos \frac{1}{2}(\theta - \bar{\theta})|^{2S} \quad (17)$$

すなわち、方向分布関数 $G(\omega, \theta)$ の形として

$$G(\omega, \theta) = G(S) |\cos \frac{1}{2}(\theta - \bar{\theta})|^{2S} \quad (18)$$

を使用した。ここに $G(S)$ は、 $\int_{-\pi}^{\pi} G(\omega, \theta) d\theta = 1$ とするための規格化関数で

$$G(S) = 2^{2S-1} \frac{\Gamma^2(S+1)}{\Gamma(2S+1)} \quad (19)$$

$\bar{\theta}$ は次式で与えられる波の平均方向である。

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} B_1 / A_1 \quad (= \tan^{-1} Q_{13} / Q_{12}) \quad (20)$$

ところで式(18)で与えられる方向分布関数が実測された方向分布関数に完全に一致するものとすれば、方向分布関数のフーリエ展開係数 A_n, B_n と式(18)の S との間には次のような関係が成立する。

$$C_n = \frac{S(S-1)\cdots(S-n+1)}{(S+1)(S+2)\cdots(S+n)} \quad (21)$$

$$(n = 1, 2, 3, \dots)$$

ここに

$$C_n = (A_n^2 + B_n^2)^{1/2} \quad (22)$$

すなわち、クローバー型波浪計の場合については

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{S+1} & C_2 &= \frac{S(S-1)}{(S+1)(S+2)} \\ C_3 &= \frac{S(S-1)(S-2)}{(S+1)(S+2)(S+3)} \\ C_4 &= \frac{S(S-1)(S-2)(S-3)}{(S+1)(S+2)(S+3)(S+4)} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

となる。

式(4)で与えられる関数は、図-4に示されるように S の増大とともに集中度が増大し、 S の大きいところでは、

$$G(\omega, \theta) = \left(\frac{\pi S}{4}\right)^{1/2} \exp\left[-\frac{1}{4}S(\theta - \bar{\theta})^2\right] \quad (24)$$

すなわち、標準偏差 $\sqrt{2/S}$ のガウス分布に漸近する。図に示されているものは実際には $h(\omega, \theta)$ ($= \pi G(\omega, \theta)$) である。

一般に、波の予報その他で、方向分布関数に関する実用的な式として使用される

$$G(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta, \quad |\theta| \leq \frac{\pi}{2} \quad (25)$$

は、図の幅添を避けるため記入されていないが、 $h(\theta) = \pi G(\theta)$ で $h(\theta)$ に直すと図-4の $h(\theta)$ で $S = 5$ としたものにほとんど一致する。

ところで、式(22)および式(23)によると、実測された方向スペクトルの Fourier 級数 A_n, B_n ($n=1, 2, 3, 4$) をもとにして、パラメータ S を求めることができる。しかも C_1, C_2, C_3, C_4 に対応して、それぞれ S_1, S_2, S_3, S_4 が求められる。

図-5は上より、一次元スペクトル(周波数スペクトル) $\phi(f)$ 、成分波の平均方向 $\bar{\theta}$ 、 C_1 より求められたパラメーター S_1 、ならびに別の異なる、 C_4 で求められた S' が一緒に示されている。図中、矢印の位置は、一次元スペクトルのピークに対応する周波数の位置を示す。

この図に示された結果より次のようことがわかる。(i) 方向分布関数 $h(\theta)$ のピークの位置より推定されたと同様に、波の成分波の来襲方向は、低周波ならびに主要成分波については、NEに近いが高周波成分はNに近くない、ている。(ii) 方向分布関数の集中度を示すパラメーター S の値が一次元スペクトルのピークの周波数成分ほど非常に大きな値となり、それをはずすると低周波側でも高周波側でも急速に小さくなる。

この結果は、次のようなことを意味する。風域内の海洋波の主要周波数成分は、平均的には風に向って進行しており、周波数によるその方向の変化は極めて少ない。ただし平均方向のまわりの方向分散の程度は、周波数成分によつて非常に異なり、一次元スペクトルのピーク、すなわちエネルギーを最も多く含む周波数成分の波に対しては分散が非常に小さく、高周波・低周波領域に移るに従って方向分散が急速に増大する。

このような結果よりすると、方向分布関数の実用的な形として使用されている周波数に依存しない一定の形

$$h(\theta) = 2 \cos^2 \theta, \quad |\theta| \leq \frac{\pi}{2} \quad (26)$$

は修正する必要がある。

現在、クローバー型波浪型を使用して計測された方向スペクトルのデータを

もとにして、実用的な方向スペクトルの形を決定する作業が進行しているので
、近い将来に発表できる予定である。

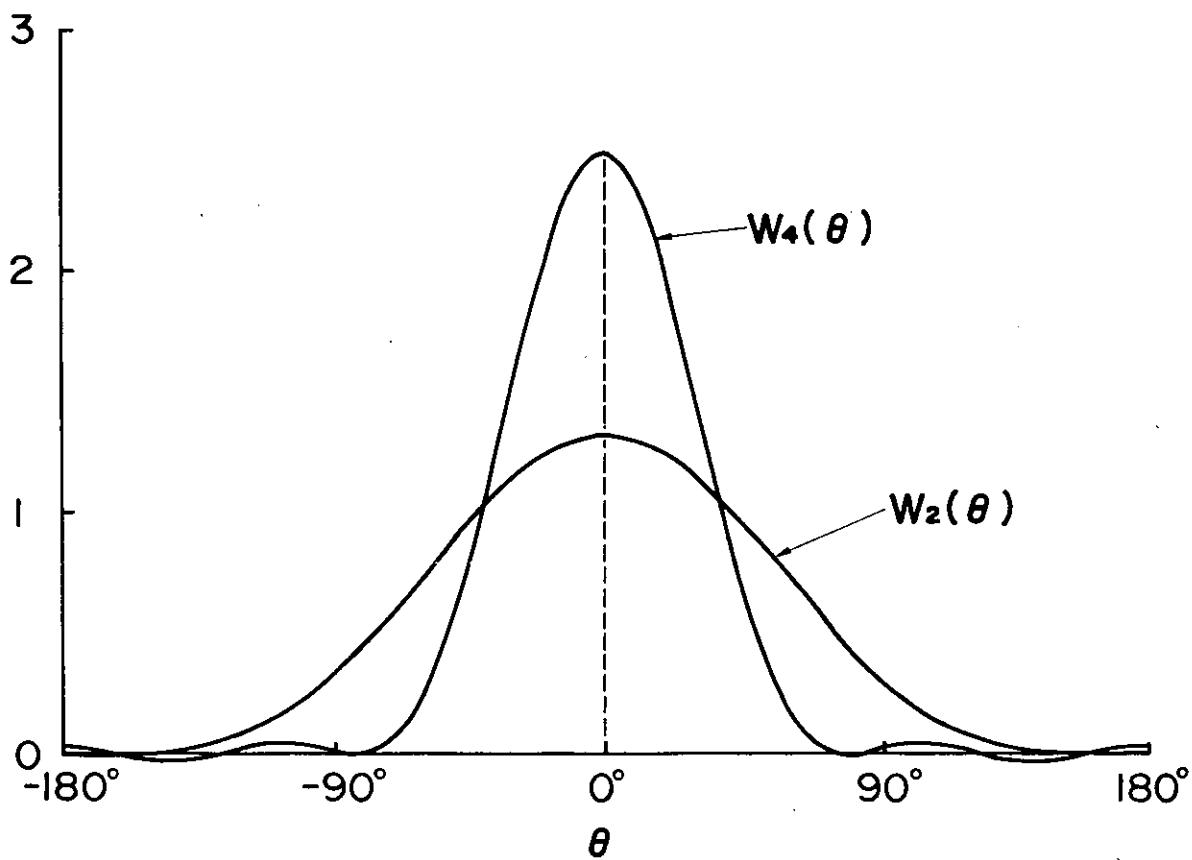


図-1 クローバー型波浪計の方向分解能を規定する重み
関数 $W_4(\theta)$, $W_2(\theta)$ はピッテロール波浪計のそれに
対応

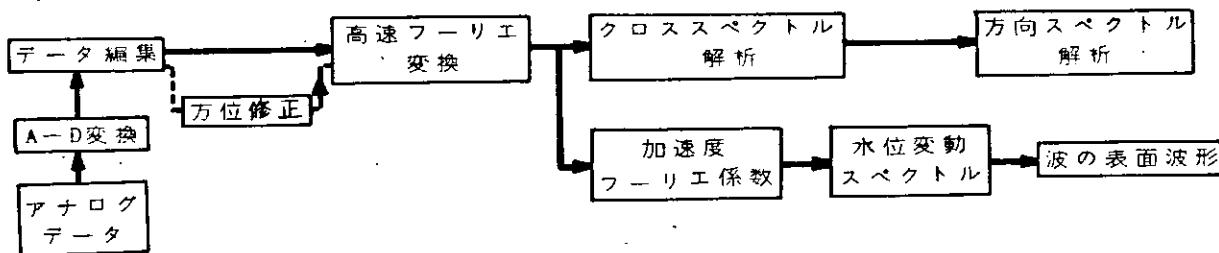


図-2 クローバー型波浪計のデータ処理の流れ図

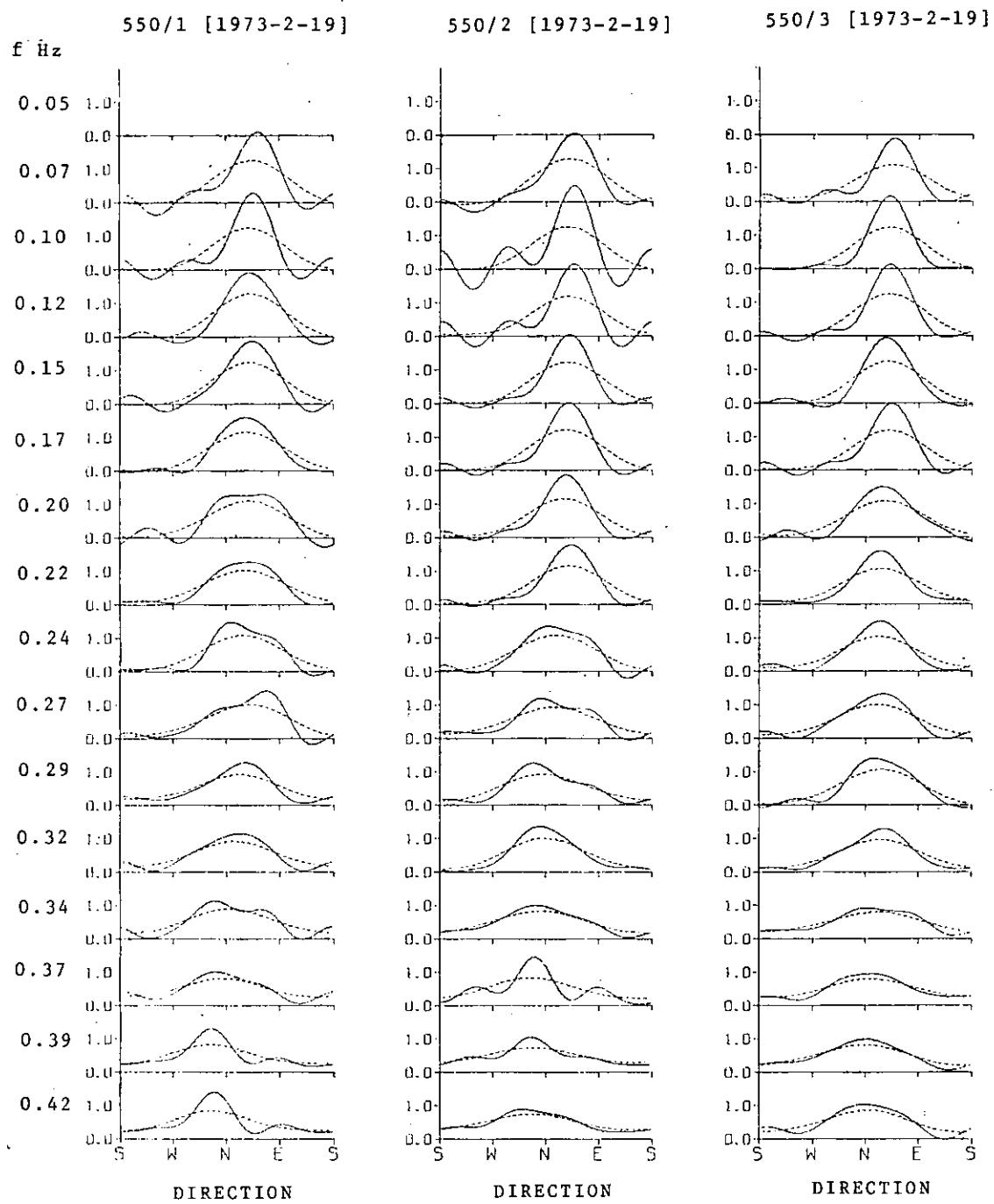


図-3 方向スペクトル(分布関数)の測定例

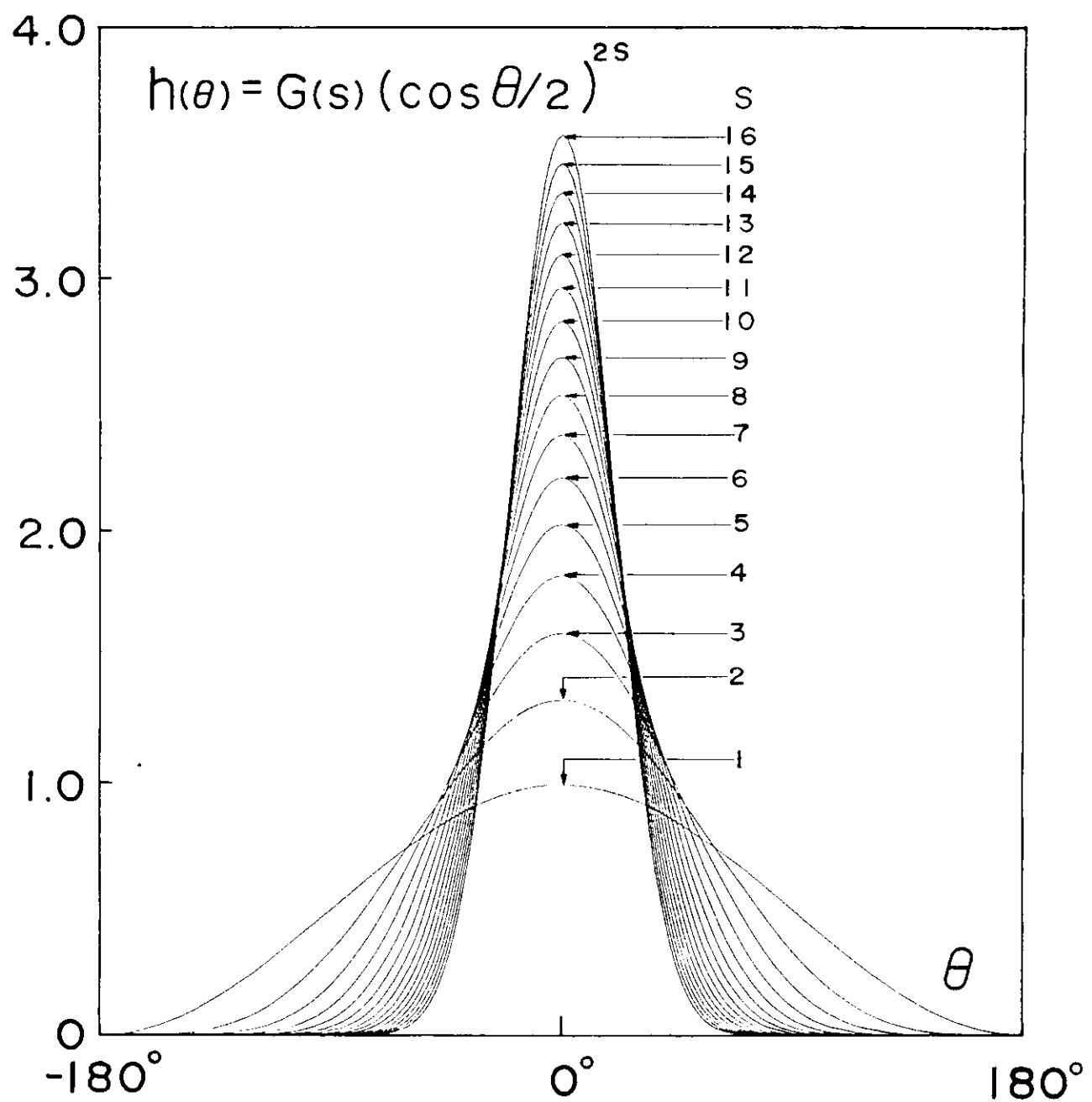


図-4 方向スペクトルのモデル関数

DATA NO. = 550

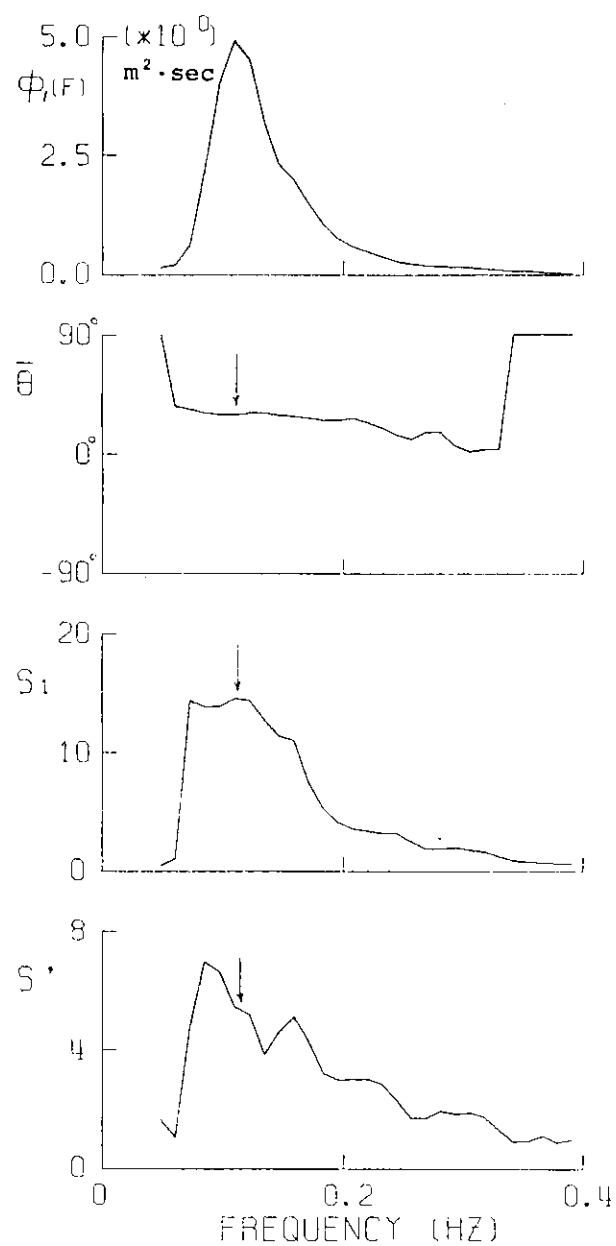


図-5 海洋波の一次元スペクトル $\phi_r(f)$ 、平均方向 $\bar{\theta}$ 、
方向スペクトルの集中度パラメーター S_1 および S'

5.2 加速度ゲイ型波浪計

加速度ゲイ型波浪計については、昨年度の実験結果を参照して、後戻部（加重度ピックアップ）シンバルの制動用のシリコン油の粘度調整、受信増中部の二重積分回路の改造などを行なった。

次に章で述べた進徳丸による計測実験では、昨年度報告書²⁾の中のⅢ, IVおよびV型の3種について計測した（図5 参照）。いずれも、2回積分した波高変動曲線の零点漂移をほとんどなく、1時間半以上、30km程度の安定した測定を行なうことができた。各型によると差はほとんどなかったが、重量という点ではV型が、乱暴な取扱いに耐えられないので、実ではⅢ型がちぢれていますようにある。

その後昭和48年8月に、長崎県五島沖での新造船の公試運転に備えて、Ⅲ型とV型を交互に使用して良好な計測結果を得た。大量投棄するにはやや高価に見えるので、次回研究部会の笠木山丸による船内実船試験では、本方式のものは使用しないことにしたが、このように回収を立前とする沿岸における計測では十分実用価値あるものと思われる。強風下ではすれば、放流しながらロープをつけて状態が十分計測できるので、長時間計測の場所を考えて、外部電源から発電ケーブルを用いて給電する方式にも切り換えられるよう改修を行なった。

笠木山丸による実船計測の第一次航（昭和48.12.15～49.1.9）では、ニッガイを船上に取付け、外部給電方式でエントリ計として試用してみたが、同時に計測したジャイロ方式の動揺計による上下動の計測結果ともよく一致を示し、主として安定した長時間計測を行なうことことができた。

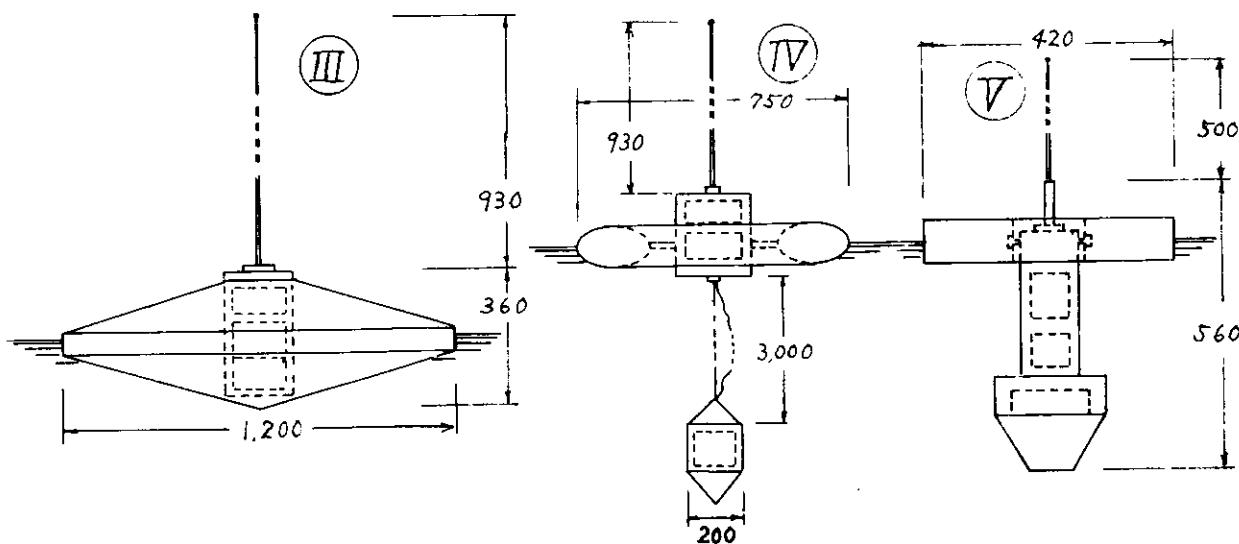


図5.

加速度ゲイ

5.3 反射型波浪計

反射型波浪計は、観測ステーションに固定されたセンサと水面との距離の変化を測定することにより波高を測定する型の波浪計である。船をステーションに用いると、船の進停の波高と、船の運動、水圧変動、船体応答変動等との相関を、各時刻において求められるが、当部会で研究されている他の波浪計と異なっている。波浪観測の実船試験には使用しないことを前年度決定したが、他の機会に使用することを考え、試作を行ない、整備して保存することになった。

5.3.1 反射型波浪計の概要

この反射型波浪計は、実験船首より観測用支柱を斜上方に突き出し、その先端に観測用ドームを取り付ける。このドームを、人工水平台によって、つねに直下に向くように制御する。ドームと水面との相対距離を、電波波高計によって測定すると同時に、ドームに取り付けた上下加速度計出力を二重積分することにより、ドームの上下変位を測定し、相対波高より差し引き、絶対波高を求める。電波波高計は、3.5 MHzで変調したミリ波の送受信部をそなえた位相差型の電波距離計である。

仕様の詳細は、当部会47年度報告書 研究資料 No.177に述べてあるが、その概略を表5.3.1に再録する。

表 5.3.1 反射型波浪計の仕様

測定範囲	相対波高	3 ~ 37 m
	絶対波高	-17 m ~ +17 m
測定精度	相対波高	±0.5%
	絶対波高	±2%
波周期	振幅特性	1 ~ 20 sec で ±0.1 db 以下
	位相あくじ	1 ~ 20 sec で 5° 以下
人工水平面	設定角度	ローリング 0 ~ ±40° ピッキング 0 ~ ±10°
記録部	記録成分	絶対波高、相対波高、有義波高、上下変位、上下加速度
	出力	0 ~ ±5 V, 20 mA
	記録器	自動平衡記録計、データレコーダ
重量	ドーム部	110 Kg

5.3.2 性能試験

前述の仕様に対する完全な性能試験は、施設がないため不可能であるので、可能なものに限って陸上（船舶技術研究所構内）で行なうこととした。

(1) 電波波高計の性能試験

電波波高計をコンクリート壁に対し、3～37mの範囲で移動させ、波高出力電圧と距離との関係を測定した。良好な直線性が得られた。また、37mにおいても、反射電波強度は十分であった。次に、波高計を落下試験水槽よりつり下げ、水面との距離を3～17mの範囲で変えて試験を行なった。同様の直線性が得られたが、17mの距離では、最大で±30cmの出力計のふらつきがあった。

(2) 上下動搖試験

電波波高計および上下加速度計に、固定平面に対して等しい上下変位を与える。それぞれの出力を正しく調整すれば、相対波高は上下変位を与える、絶対波高は0となる。この方法で反射型波高計の総合試験を行なうことができる。上下動搖試験装置により、周期4秒、振幅1.5mの変位を与えたときの上下加速度計より求めた変位出力、電波波高計より求めた相対波高出力、この二つの差の絶対波高出力を図5.3.1に示す。

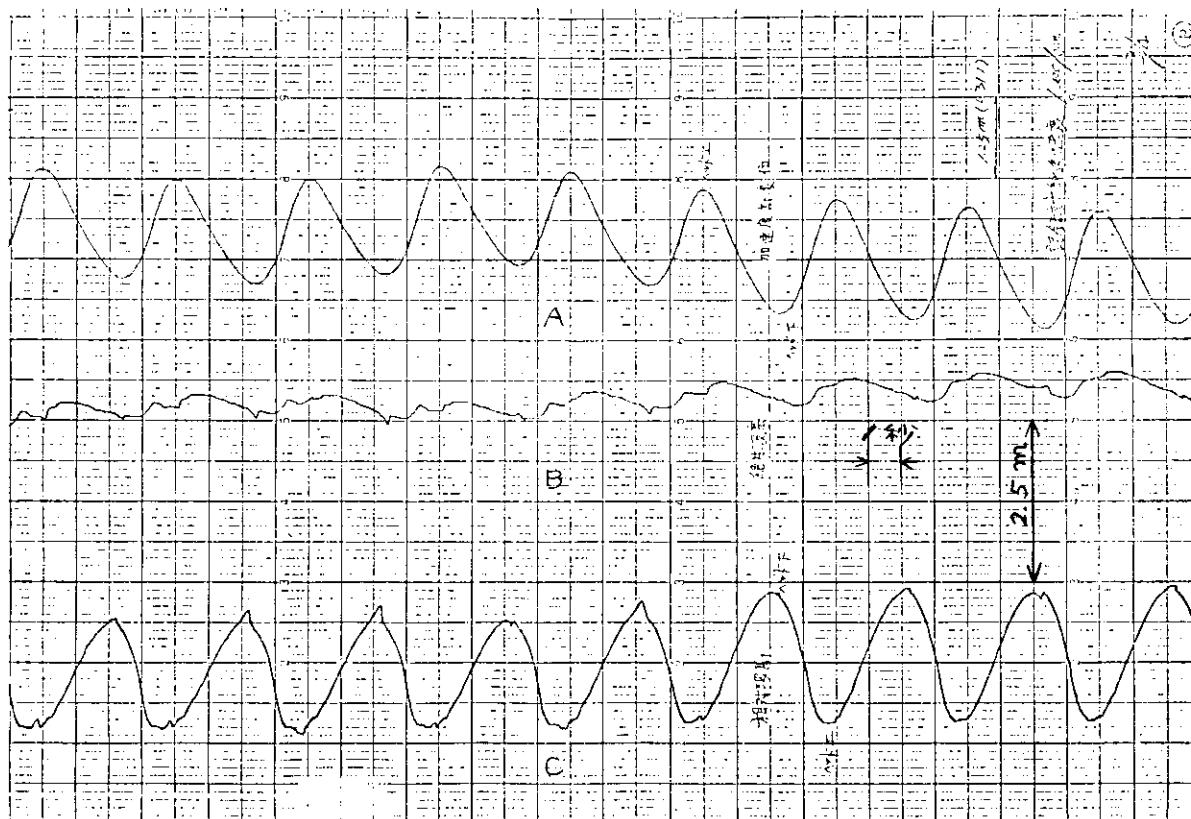


図5.3.1 反射型波浪計の上下動搖試験 周期：4秒

A： 加速計出力による変位 B： 絶対波高 C： 相対波高

この結果、次のことが明らかになった。

- (a) 加速度を二重積分して求めた上下変位出力に大きなドリフトを生じる。
- (b) 変位はほとんど正弦的であるのに、電波高度計の出力はひずんでいる。したがって、加速度計出力による変位を差し引いても、絶対波高は完全には0にならない。図5.3.1の場合には、見かけ上、約0.35mの変動が出でている。

大きな動揺について上の現象がどのようになるかは不明であるが、改造する必要を認めた。

5.3.3 反射型波浪計の改造

改造と検討を行なった主な点について述べる。

(1) 上下加速度計

上下加速度計による変位出力は、検討の結果、二重積分回路を含めた電気回路によるものではなく、加速度計本体が原因であることが明らかになった。そこで、加速度計を磁わい式より、容量検出-自動平衡式に改造し、良好の結果を得た。図5.3.2に示すように、改造前の出力変動が、1~3分周期、最大全振幅2mであったものが、改造後は激減して、周期は長くなり、最大全振幅0.4mとなり、ほぼこの波浪計の仕様を満足する。さらに変動を小さくするためには、二重積分回路の時定数を短かくし、20秒周期で位相あくれ5°の条件をゆるくすればよい。

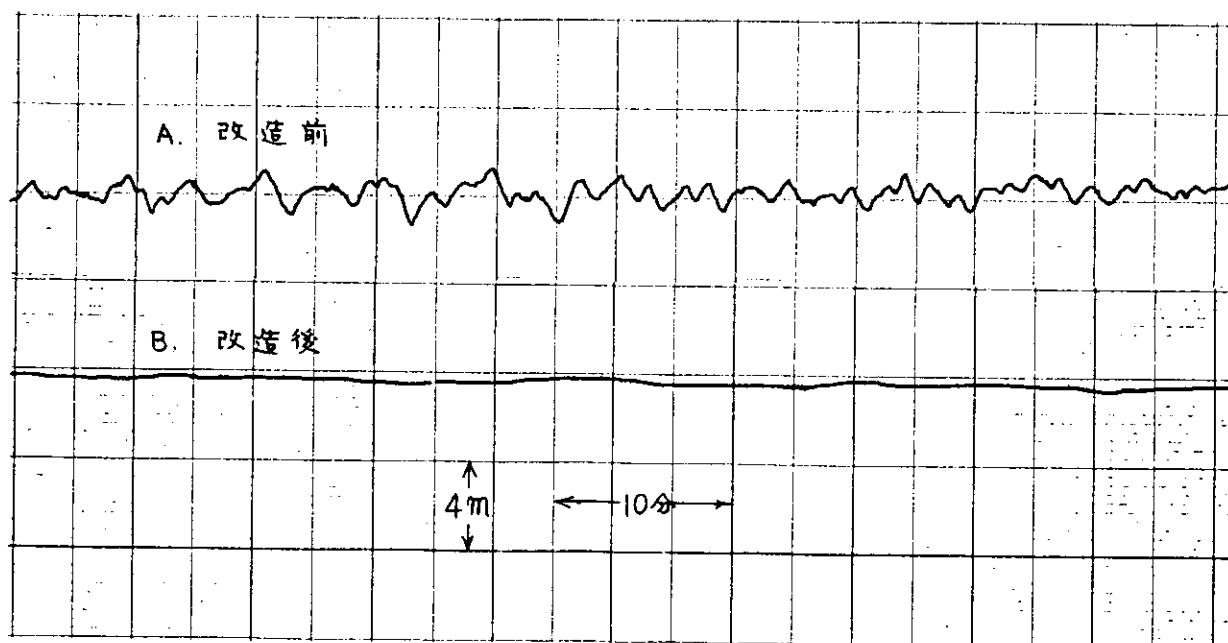


図 5.3.2 上下加速度計の変位出力変動

(2) 電波波高計

電波波高計の出力波形のひずみは、距離測定の検定結果からは考えられない

ことであつて、その原因は、現状では不明である。しかし、近距離の距離測定から、反射板の微少変位により、みかけ上、大きな出力変動が生じることが見出された。上下動搖試験において、電波波高計の取り付け位置がコンクリート床より約4mの高さであったことから、これが出力波形のひずみと密接な関係にあることが想像される。この現象を図5.3.3に示す。電波の波長入の半分、 $\lambda/2 = 5\text{ mm}$ 周期で変動がおこっており、電波送受信面と反射面との間にあらざる多重反射に干渉現象であると考えられる。また、微少変位による出力変動と距離との関係を図5.3.4に示す。距離が大きくなると変動は小さくなるが、15mでも、全振幅で約30cmである。ほぼ距離に逆比例して減少する。これは、さらに減少させる必要があるので、送受信面における反射強度の減少、変調方式の変更その他の改造を行ない、試験を実施したが、完全には解決されていない。次年度においてさらに改善をはかりたい。

(3) その他

人工水平面設定のためのローリング用ジャイロの機械的ガタの修理、電波出力の増強、船首支柱付近に設けるケーブル中継箱より測定室までの測定用ケーブル100mの整備を行なった。

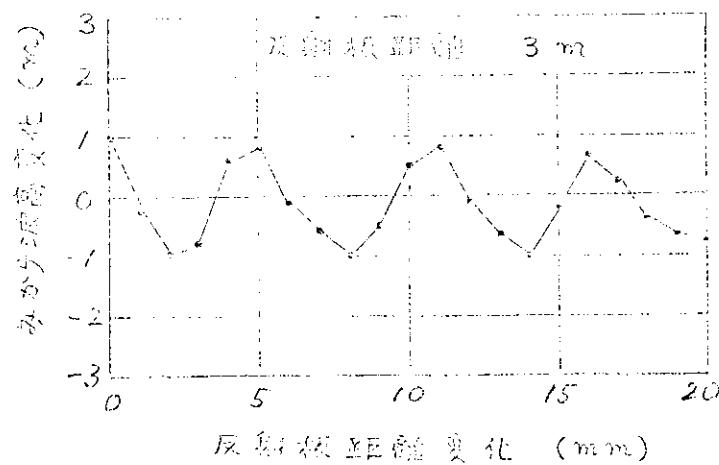


図5.3.3 微少変位によるみかけ出力変動

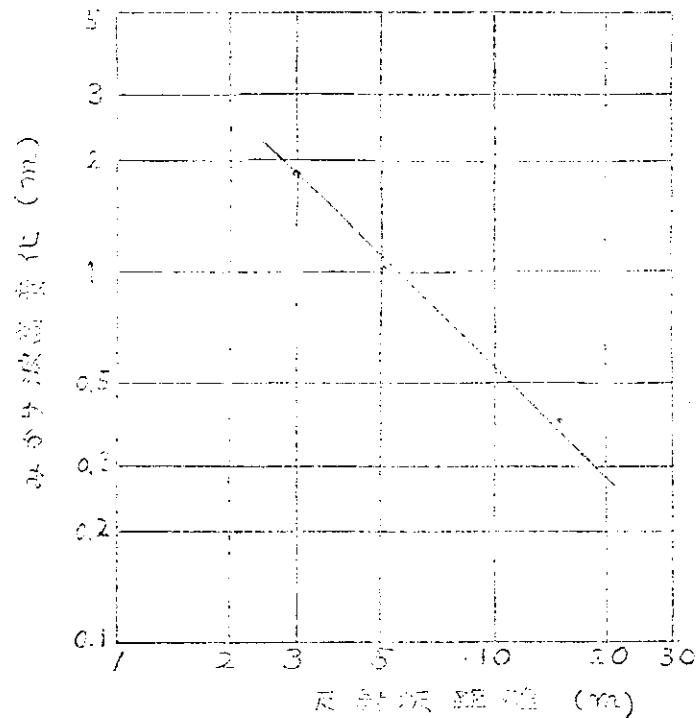


図5.3.4 微少変位によるみかけ波高変化と距離との関係

5.4 レーザ波浪計

レーザ波浪計の研究は、5.3に述べられている反射型波浪計で使用している電波波高計のミリ波のかわりにレーザ光を使用しようとするものである。レーザーの単色性および指向性がさわめてよい特徴を利用し、電波波高計にない性能を持った波浪計を開発することを目的としている。

5.4.1 レーザ波浪計の概要

このレーザ波浪計は、振幅変調を受けたレーザ光の波面よりの反射を位相計によって検出し、波浪計と水面との距離の測定を行なう方式をとっている。測定範囲は、変調周波数により定まり、測定精度は、位相計の精度によって定まる。試作した波浪計では、7.5 MHz の変調周波数を使用し、3～17 m の範囲の距離を、0.1 m の精度で測定することを目標においている。

この波浪計で問題になるのは、水面の反射率が約1%で小さいこと、太陽光の反射が強力で受光器の出力を飽和させること、実用上では耐候性の向上が必要であることなどである。この研究では、まず最初の二つに重きをおいて実験をすすめ、47年度に装置の改修を行なった。改修の主な点は、レーザ光の増強 ($6 \text{ mW} \rightarrow 15 \text{ mW}$)、送受信光学系の光軸の同軸化、高感度フォトマルと低雑音増幅器の併用による受光系の感度向上、視野しづりによる太陽光の雑音低下等である。詳細は、研究資料 No. 177 に述べてある。

5.4.2 水面反射の実験

本年度は、改修されたレーザ波浪計について次の性能試験を行った。

(i) 無変調時の性能試験

散乱面（白紙）よりの反射の測定より、受光出力は、ほぼ距離の自乗に逆比例することをたしかめた。受光系のピントを20 m の距離に合せて、反射面を移動させると、出力最大の距離は15 m であり、出力が1/2になる範囲は、11～20 m、1/3になる範囲は、10～22 m であり、10 m 以上の変位の測定が可能である。

受光器の視野は、 1.85 mrad 、20 m の距離で 3.7 cm である。このように視野を小さくしづり、絶縁膜フィルタを使用したために、太陽光による雑音にさわめて強くなった。

昭和48年11月22日 10:30～11:00（快晴）の測定値によれば、太陽光の平水面反射による受光器フォトマル出力は、レーザ光の反射による出力の1/30であった。さらに、天空光、すなむち、大気層の散乱により地上に到達する光による反射は、フォトマルの暗電流よりも小さく、無視できる。そこで、太陽光の問題は解決され、実用上視野しづりをどこまで広げられるか

という問題が残されている。

(2) 変調時の騒音

変調器は、46年度購入したものであり、改造波浪計に使用するとビームが広がりすぎるので、本年度、変調器微動装置とビーム集束装置を製作し、ビームをしぼり、変調時の実験を行なった。

検出感度に關係するものは、変調周波数 7.5 MHz のノイズである。これは、(a) フォトマル電流によるショットノイズ、(b) フォトマル暗電流によるノイズ、(c) 増幅器ノイズ、(d) 誘導ノイズより成る。(a) がもっとも大きく、受光出力の約 $1/300$ である。(b) は、さらにその $1/40$ であり、(c)、(d) は、ほぼ一定で無視してよい。

(3) 距離測定

散乱面よりの弱い

反射光による距離測

定を行なった結果を
図 5.4.1 に示す。受
光面（100cm の対物
レンズ）での受光エネ
ルギーは、反射面の
距離 20m において
 $10^{-9} W$ と推定され
る。約 20m の距離
変化の測定が可能で
ある。平水面よりの
反射は、今までの実
験により、1.3% の
反射率の正規反射に
よると考えられ、約
 $10^{-5} W$ の受光エネ
ルギーがあり、平水面反射による距離測定は、フォトマルの感度を下げる
ても十分可能である。

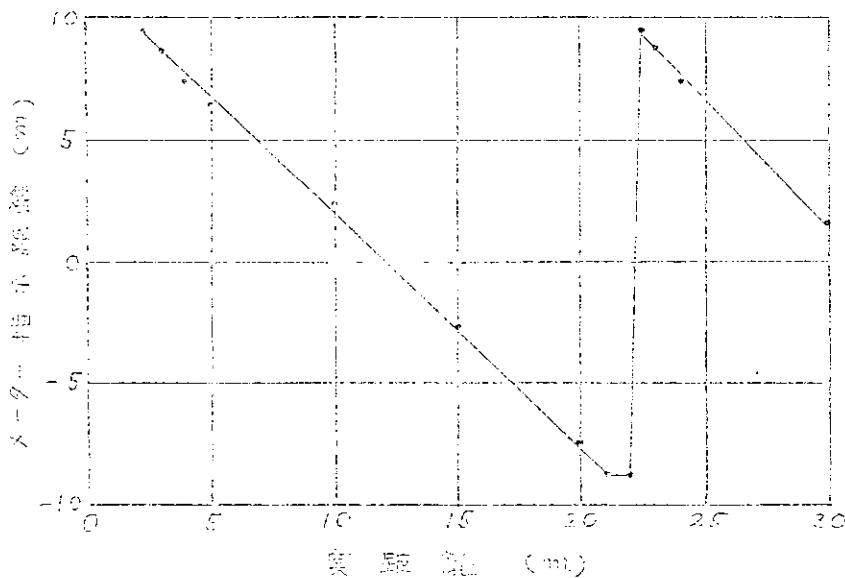


図 5.4.1 散乱反射面による距離測定

(4) 亂波面の反射

風で短波長の波を発生させた水面の場合には、反射条件が満足される小波面からの正規反射のみが強く検出されることが、前年度までの実験によって確認されている。改造レーザ波浪計では、ビーム径が小さく、これに対応して視野がせまいために、反射光が従来よりもパルス状になる欠点がある。図 5.4.2 にその反射パルスを示す。A のオシログラムで B の矢印のある部分を拡大したも

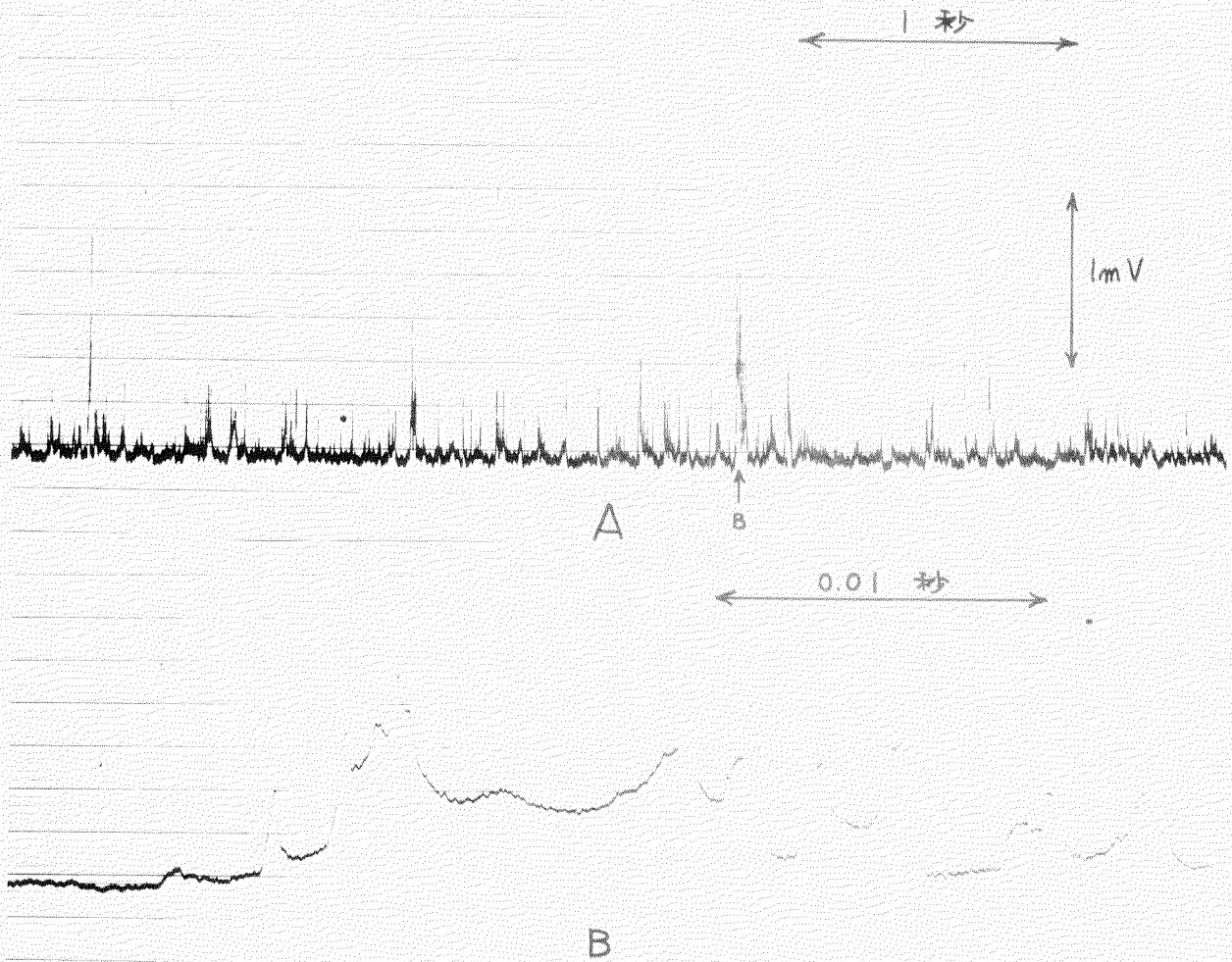


図 5.4.2 駆波面よりの反射パルス（フォトマル出力）

のが、下の B のオシログラムである。距離指示用位相計の応答はおそいので、この反射パルスには追従しない。機械的ショッパンにより試験した位相計の応答を図 5.4.3 に示す。時定数は 0.07 秒であった。

5.4.3 考察

レーザ波浪計の実用化には、耐候性の配慮を行ない、海上での実験を積み重ねる必要があるが、現在の装置でさらに

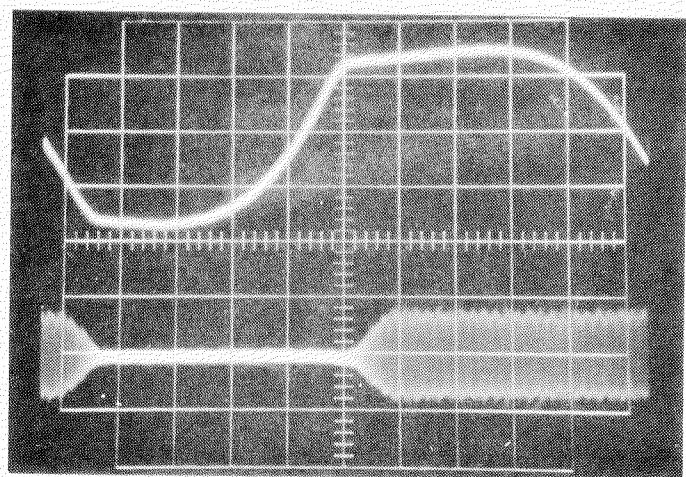


図 5.4.3 位相計の応答 (50 ms/div)
上：位相計入力 下：位相計出力

改造すべき点は、次のとおりである。

(1) 位相計の応答

現在までの実験の結果によれば、波面よりの反射は、光の反射条件が満足されるときにのみ強いパルス状の反射が得られる。これを計測するためには、位相計の時定数を少くとも 1mS まで減少させる必要がある。

(2) ビーム径の拡大

視野しほりとビーム径の減少によって太陽光雜音が無視できるようになった。太陽光雜音がショットノイズのみであると考えるならば、改造レーザ"波浪計"の設計にはまだ余裕がある。ビーム径の拡大の限界を推定しよう。

S/N は、ショットノイズできまるが、レーザ光に対しては、 $S/N = 300$ (受光エネルギー $\approx 10^{-9} \text{ W}$) である。変調率 0.3 とすれば、変調光に対しては、 $S/N = 100$ となる。 $S/N = 50$ まで許すとすれば、太陽光成分をレーザ光と等しい強度まで許すことができる。太陽光出力は、レーザ光出力の $1/30$ (距離 20 m において) であるから、ビーム集束装置 (エキスパンダ) によりビームを広げるとともに、視野しほりのピンホールを大きくして、視野を、 $\sqrt{30} \approx 5$ 倍まで広げることができる。

視野をひろげることにより、レーザ"反射強度は減少するが、単位時間当たりのパルス数は増加するものと考えられ、前項 (1) の位相計の応答速度の改造とともに、連続記録の可能性に一步近づくことができる。

6. 実船計測

6.1 進徳丸における計測

6.1.1 第一回計測

昭和47年度研究のまとめとして、48-2-11～2-19の間に、航海訓練所 進徳丸に便乗し、実船による波浪計の実験を実施した。

本実験については、昨年度報告に実施概要を紹介したが、本項目には、その後に行なった解析結果を紹介し、第一回実船計測の報告とする。

(1) 目的および実験の内容

計測の目的は、当委員会で検討して来た、各種波浪計等機器の性能試験を行ない、波浪計等各種機器の性能の確認および比較を行なうとともに、その改良点を見出し、次年度以降に予定されるより総合実船実験に備えるものとする。上記の目的のために、以下の内容の試験を実施した。

(a) 平塚沖テスト

国立防災科学技術センター 平塚支所の波浪観測塔の波浪計を原器として参加各種波浪計の比較実験を、主たる内容とする。

(b) 備多沖テスト

投すマ型各種波浪計の比較実験を主として行なう。この場合、プロバーフ型を比較の原器とする。

(c) 洋上での波浪計の投棄テスト

投すマ型各種波浪計を実験船より投棄し、計器の作動、電波の到達等実用化試験を行なう。この場合、波浪計は回収しない。

(d) レーダー波向計による波向計測及び調査

47年度製作機器による波峰線のPPⅠ映像の撮影およびAスコープによる反射電波の計測を随時実施する。

(e) 超音波波高計による玄側水位の計測

船体中央部玄側における相対水位の計測を随時実施し波浪観測の参考とする。

(2) 参加機器

以下の各機器による実船による波浪計測を実施した。各機器の詳細につきましては昨年度および本年度報告の関係項目を参照されたいたい。

(a) 水圧式波浪計(投すマ型)

東京大学(久保田気象測器) 5台 (図6.1-1 参照)

大阪府立大学(神戸電波) 4台 (図6.1-2 参照)

(b) 加速度式波浪計

東京大学(旭電機) 4台 (図6.1-3 参照)

以上は無線テレメータ方式

(c) フローバ型波浪計

九州大学(旭電機) 1台 (図6.1-4 参照)

これは、有線テレメータ方式

(d) レーダー波向計関係

川重、神商大、大府大(神戸電波) 撮影装置一式

(e) 相対水位計およびその他(船砕)

超音波波浪計等 一式

(3) 試験の実施過程

(a) 日程

48-2-7 日立造船草港工場にて進徳丸に残器の一部積込み (九大、大府大)

48-2-13 千葉港にて残器の積込み (東大、船砕)

実験担当者打合せ (本船にて)

48-2-14 全員乗船完了 千葉港出港 (11:00)

実験担当者と進徳丸との打合せ

金田沖仮泊

48-2-15 平塚沖9:00より実験開始

潮岬、土佐沖の間で隨時実験を実施しつつ

48-2-17 六連島沖、仮泊

48-2-18 実験

48-2-19 午前中実験

午後、博多港入港、実験終了

48-3-4~7 神戸港にて一部残器の揚陸

48-3下旬 東京港にて残部残器の揚陸

(b) 試験の実施過程

参加各波浪計の試験実施過程を、表6.1-1に示す。表6.1-1中④、⑤に関する記入は感圧センサーの深度を記入、⑥に関する記入は、試験に使用した波浪計の型を記入したものである。

(4) 実験の結果

(a) 波浪計について

試験データの解析方法に関する記入は、表6.1-1に各波浪計に分けて示してある。解析方法に若干の相異が見られるが、解析結果には大きな影響は現められないと考えられる。従って解析法の細部にわたる統一はしません。

解析は各担当者が個々に行なった。各波浪計に関する解析結果の比較は

表6.1-1の①～⑥の試験についてのみ行はれた。解析の結果得られた諸統計値と、本船士官、計測員等の目視による値を比較して表6.1-3に示す。解析の結果得られた波スペクトラムを⑦～⑩について、図6.1-5～図6.1-7に示す。加速度ブイ型波浪計のデータに関する限りはスペクトラム解析は行なわれておらず、図中には示さぬまい。図6.1-8にクローバ型波浪計のデータ解析の結果得られた方向分布関数を示す。

(b) レーダ波向計について

レーダ波向計に関する限りは、実験海面が比較的穏やかであったが、PPI映像、ASCOPEの写真撮影に成功した。

レーダ波向計の結果については、別に述べる。(6.1.4. 参照)

(5) 実験結果の検討

表6.1-3より、④の実験の結果、船載型波浪計⑦～⑩によると計測された統計値は一部を除いて、国立防災科学センターの計測結果との一致は概ね良好であると言える。⑩の有義波高値が他に比べて高いのは、感圧センサーの重量が小さすぎたためである。(この点に関する限りその後改良された。)

②～⑥の実験結果は、残種による差異も余り大きくなく、目視による観測値との一致も比較的良好である。

図6.1-5各波浪計によると計測された波スペクトラムの形状は、原器となる財團センターカーのものによく似ており、この点からも、完成度の高さことがうかがえる。図6.1-5～図6.1-7より、水圧ブイ型波浪計は、重量が軽いため、本船に係留した状態で使用するとき、係留索を通して本船の漂流の影響に入るため、波スペクトラムの低周波数域に高ピークが現れる。従ってこの波浪計は最初の計画通り投棄使用とすべきことわかる。

図6.1-8より、クローバ型波浪計によれば、波浪の方向分布関数は、従来知られていなかった。

$$G(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta$$

とはならない。素成波の進行方向とおよび波の周波数にも依存しており、波スペクトラムのピーク付近の周波数に対しては非常に高い集中度を示すことが分った。

(6) まとめ

多数の機器と、多方面の組織からの参加者によって実行された本計測は、困難な状況が度々あり、たにもかからず、一致した協力のもとに予期以上の成果を挙げ終了した。この計測の結果よりみて、概して参加機はいずれも、実用一步手前まで完成されることはと判断され、更に改良を加えることにより、動作確実な船用波浪計を48年度中に作成できること達めた。

6. 1. 2. 第二回計測

第二回計測は、田宮部会長以下 16 名（うち 2 名は SR-125 関係者）参加のもとで、48-7-9～48-7-12（集結日を含む）の間に主として、本州沿岸沖合において実施された。参加機器は、それぞれ第一回計測のうちに、担当者における改良製作された実船用波浪計の試作機であり、これ等について総合テストが実施された。

(1) 参加機器

- | | |
|-----------------|-----------------|
| (a) Radar 波向計一式 | （神戸大 — 神戸電波） |
| (b) 加速度型波浪計 | 3 台（東大生研一旭電機） |
| (c) 水圧型波浪計 | 5 台（東大生研一久保田気象） |
| (d) 水圧型波浪計 | 7 台（大府大 — 神戸電波） |

なお、c, d. 各波浪計の調整水深は 50m である

(2) 航海スケジュール (当時の天候)

7-10

- | | |
|-------------|-------------|
| 09-45 廣島港出港 | （Calm, bc） |
| 14-00 門司岬通過 | （NW-3, bc） |
| 17-47 姫島通過 | （NNW-2, bc） |
| 20-10 佐田岬通過 | （SW-3, bc） |

7-11

- | | |
|--------------|------------|
| 01-40 足摺岬通過 | （NE-1, bc） |
| 06-35 室戸岬通過 | （NNW-3, 晴） |
| 12-47 紀伊大島通過 | （W-4, bc） |

7-12

- | | |
|--------------|------------|
| 03-23 神子元島通過 | （SW-3, bc） |
| 05-15 伊豆大島通過 | （SW-4, bc） |
| 08-00 東京湾到着 | （SW-2, 少々） |

(3) 試験内容と試験経過

(a) 試験内容

実用化波浪計等の試作機についての総合試験であり、以下の項目について個々にあわせて同時にテストが行なわれた。

- (i) 破壊衝撃投下テスト（水面上 12～15m より水圧型の実施）
- (ii) 据付・受信性能テスト
- 船舶通信電波との混信を調査する。
- (iii) 波高記録性能に関するテスト
- (iv) 電波到達テスト
- (v) その他

以上、波浪計開港、以下、波向計開港

- (Vi) A-スコープの記録
- (Vii) PPI映像の撮影記録
- (Viii) アニメーション用連続記録

(b) 試験経過

48-7-10

各機の起、受信テスト (船上)

48-7-11

09-00 #1 テスト開始 (室戸岬沖)

- (i) 09-04 水压波浪計(東大)投入、投す (Bridgeより)
- (ii) 09-08 水压波浪計(東大)投入、投す ("")
- (iii) A-スコープ撮影のため八角形航走 + うち 5角形を走る
- (iv) 09-20 本船試験実測航行、 8.4^{MHz} , 4.3^{MHz}
- (v) 八角形航走終了後、直進して受信を継続する

14-00 #2 テスト開始 (潮岬沖)

- (i) 14-07 水压波浪計(東大)を投入。
- (ii) 14-00~14-15 水压波浪計(東大)を投入 — 揚収
- (iii) 14-20~14-35 船上
- (iv) 14-40~15-00 加速度波浪計V型(東大・救命ブイ型)を投入 — 揚収
- (v) 15-28 水压波浪計(東大)を揚収
- (vi) 15-34 水压波浪計(東大)を投棄 (Bridgeより)
- (vii) 15-35 水压波浪計(東大)を投棄 (ブーム先端より)
- (viii) 18-11 加速度波浪計V型(東大・救命ブイ型)を投棄 (上甲板より)
- (ix) 14-22 ~ 16-44 レーダー波向計 (A-スコープ及びPPI映像)

48-7-12 #3 テスト (東京湾口)

06-06 水压波浪計(東大)を投棄 (上甲板より)

(c) 7月11日の海象

時刻	波の方向	H(m)	L(m)	U(m/s)
09-00	240°	0.6	20	W 5~7 m/s
10-00	240°	0.7	20	
11-00	230°	0.7	25	
14-00	230°	0.9	30	SSW 6 m/s
15-00	220°	1.0	30	
16-00	210°	1.0	30	
17-00	210°	0.8	25	

↑ 繼走中
＊ 停航中
＊ 繼走中

(4) 試験の結果

本航は海面は全く静穏であり、波の記録にみるべきものはなかつたが、参加各機ともそれぞれ実用化機器としての所期の性能を、ほぼ満足してしまふと確認された。

以下、各項目に、テストの結果を3-(a)より記述する。

(a) 耐衝撃落下テスト(水面上12~15m)

- (i) 停船時には落下後異常なく作動
- (ii) 航走時には大府大機器に異常をみとめず。これの対策として、落下姿勢等を考慮して機体を補強することにする。

(b) 船内通信受信性能テスト

全機とも正常に作動。ただし、船舶通信との混信は極めて強烈であるので、波浪計受信機の保護および記録の扱いに注意する必要あり。(6.1.2-11回)

(c) 波高記録性能に関するテスト

全機とも正常

(d) 電波到達テスト

全機とも設計値を満足

(e) なし

(f)(g)(h) 全機とも仕様通りに作動。

実測の結果、まだ改良すべき部分をみとめたが、これらについては、各担当委員において鋭意改良のめらに実用機の作成にうつさることにする。E.

6.1.3. おわりに

投げすぐ型波浪計の実用化試験を中心とした第一次計測、試作波浪計の性能確認試験としての第二次計測等、2回の実船からの投入試験により、本部会の実船搭載用波浪計のうち投げすぐ型波浪計は、水圧感知型波浪計(SR125およびSR132に2使用)および加速度型波浪計とともに総合実船実験を目標に、数々の改良を行なうことことができた。この結果本年度には、実用機の製作を行ひ、別項6.2、6.3の実船試験に供せられた。

さて、第1回、第2回計測の結果およびその検討については、すでに述べたところであるが、率直に言つて、異種波浪計の性能を精度よく相互に比較することは、現状では未だの感がある。今後ともこのようす比較計測の機会を与えられれば、この方面的技術は一層進歩するものと思われる。また、同種波浪計の同時計測にあたり、熟練した目視観測値もまた十分に評価するに値すると思われる。最後に、本実験に協力された運輸省航海訓練所および同所所属進徳丸桜木船長はじめ乗組員各位、また、施設の利用および観測データを提供下さった国立防災センタ一平塚支所、岩田憲章博士はじめ同所所属の皆さんに厚くお礼申し上げる。

卷六 / 実驗室題

表 6.1-2 “五一”解放军伤亡

機種		水平行型波浪計		加速度行型波浪計		加一八型波浪計	
入力	計測時間(sec.)	約 600					
データ型式	アナログ or デジタル	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ
測量量	力	加速度	速度	速度	速度	速度	速度
データ時間(sec.)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
データ数(N)	1500	1024	1024	1024	1024	1024	1024
最大データ	1.50 (60)	W ₁					
データゲート	Q	Peak to Peak					
積合二乗根(1/sec)	0.4 ~ 4.5	~ 0.65 Hz					
解作法	調和解析	FFT	FFT	FFT	FFT	FFT	FFT
統計	データ時間(sec.)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
解算	データ数	* Peak to Peak Zero crosses					
結果	標準偏差	W ₁					
結果	電算処理	日視解析	日視解析	日視解析	日視解析	日視解析	日視解析
結果	標準偏差	0	0	0	0	0	0
波高	平均 H _m	0	0	0	0	0	0
波高	有義 H _{1/3}	0	0	0	0	0	0
波高	0-cross To Peak	0	0	0	0	0	0
波高	Peak to Peak	0	0	0	0	0	0

- 1) この表は標準解析表である。
- 2) * 標準解析に於けるデータ数は、方程式によって定められる。
- 3) ** 過渡期の算式は、10回用意されたアルゴリズムによって得られる。
- 4) 標准計算可能。

表 6.1-3 實驗結果

No.	Type	Condition	Visual Observation			Spectral Analysis MHz (m)	\bar{T}_0 (sec.)	Vibration (Capacitance)	Note
			Hv (m)	Tv (sec.)	0.64 (0.97) 3.60 (3.12)				
(1) (平 水)	④	Moored " " "	(Swell) 0.5~0.9	(") 5~6	0.89	2.50			
	⑤	"	0.6	(") 5~6	0.95	2.23			
	⑥	"	0.5~0.9	(") 5~6	0.63	5.7	*		
	⑦	On Board " " "	0.45	(") 5~6	0.50	(4.41)			
(2) (平 水)	⑧	Moored " " "	0.5~0.9	5~6	0.75	4.20			
	⑨	"	0.5~0.9	5~6	1.43	3.31			
	⑩	"	0.5~0.9	5~6	1.13	4.6	*		
	⑪	On Board " " "	0.45	(") 5~6	0.75				
(3) (海 上)	⑫	Free " " "	1.0~2.0	5~6	1.35	4.03			
	⑬	"	max.	6	1.21	4.2	*		
	⑭	"	1.8~2.0	6	0.87	(4~8.66)			
	⑮	On Board " " "	0.8						
(4) (海 上)	⑯	Moored " " "	0.8~1.0		0.79	3.15			
	⑰	"	0.8~1.0		0.90	2.73			
	⑱	"	0.8~1.0		0.93	3.5	*		
	⑲	On Board " " "	0.4		0.57	(3.42)			
(5) (海 上)	⑳	Moored " " "	1.0~(2.0)	5~6	0.84	3.80			
	㉑	"	1.0	7.0	1.65	3.65			
	㉒	"	1.0		1.31	3.18			
	㉓	"	0.5~1.0		1.11	3.8	*		
(6) (海 上)	㉔	On Board " " "	0.4		1.09	(4.18)			
	㉕	"	0.4						
	㉖	"	0.4						
	㉗	"	0.4						
(7) (海 上)	㉘	Moored " " "	3~4	6	2.47	6.35			
	㉙	Free " " "	3~4	6	3.06	6.45			
	㉚	Moored " " "	3~4		3.03	5.79			
	㉛	"	3~4		2.66	6.5	*		
(8) (海 上)	㉜	On Board " " "	2.0						
	㉝	"	2.0						
	㉞	"	2.0						
	㉟	"	2.0						

九
*

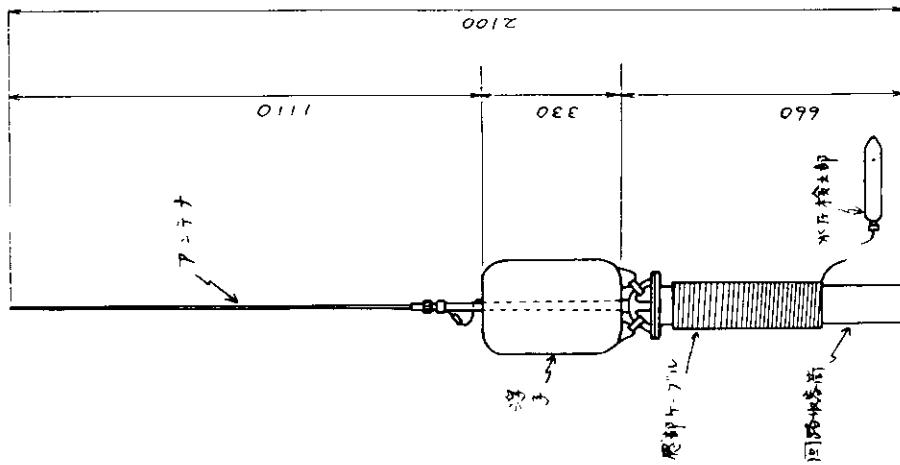


圖 6.1-1 壓力傳感器型波浪計外觀圖
(車大型)

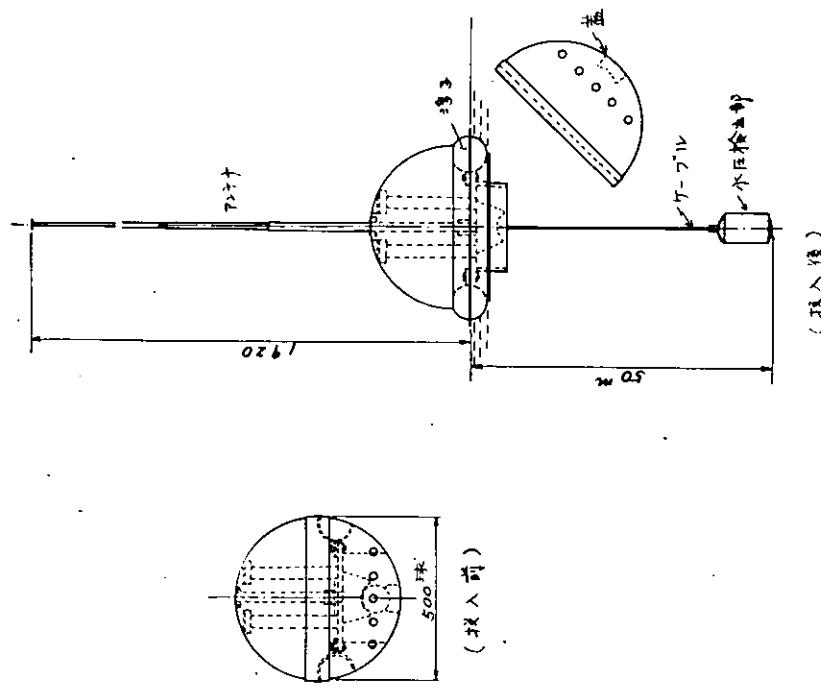


図 6.1-2 大型船舶電波測定計 (大型船大型)

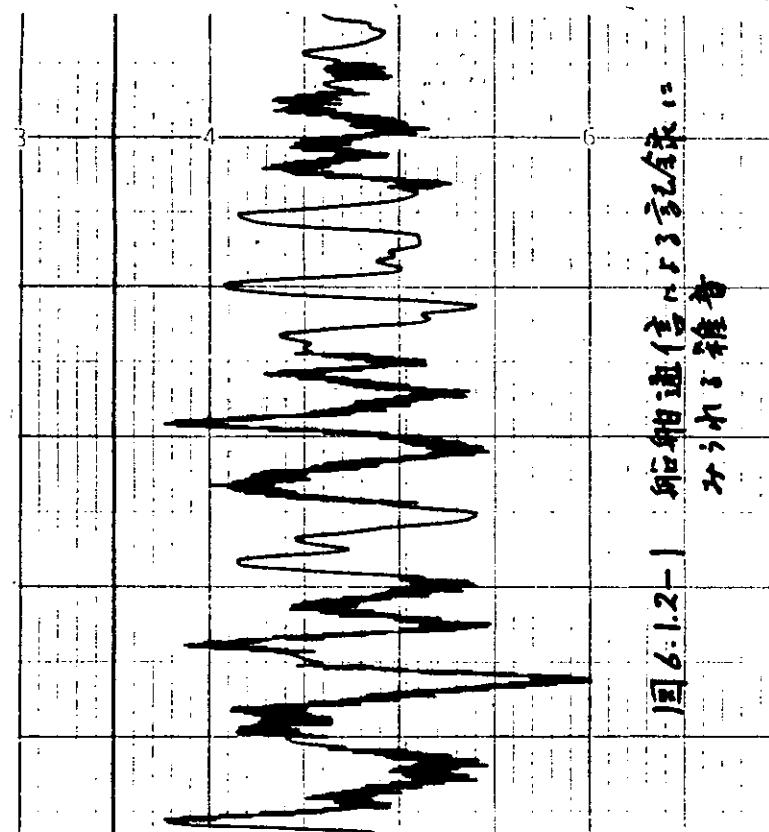


圖 6.1-4 017 口 - 8" 型波浪計 (九六)

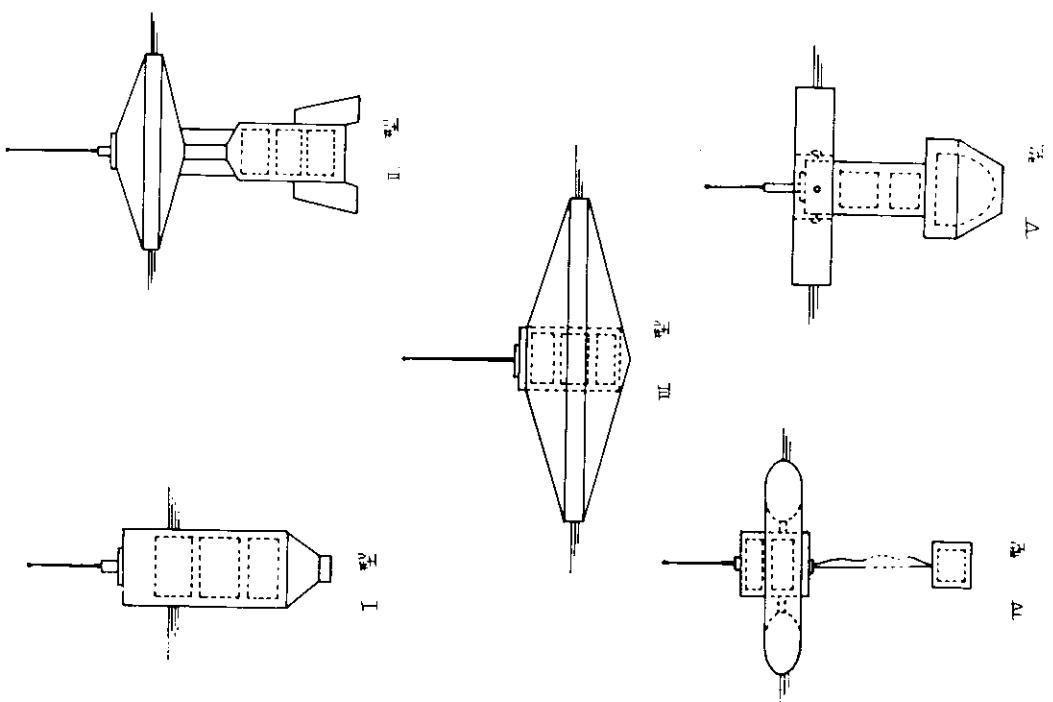
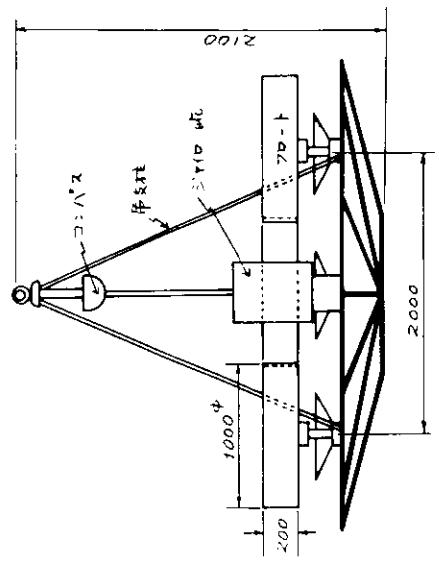


圖 6.1-3 加速式 'Y' 型波浪計 (較大)

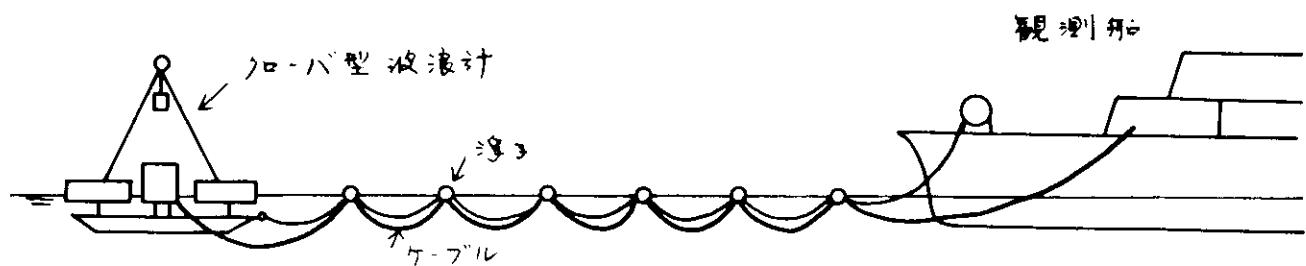


図 6.1-4 70-8型波浪計による波浪計測システム

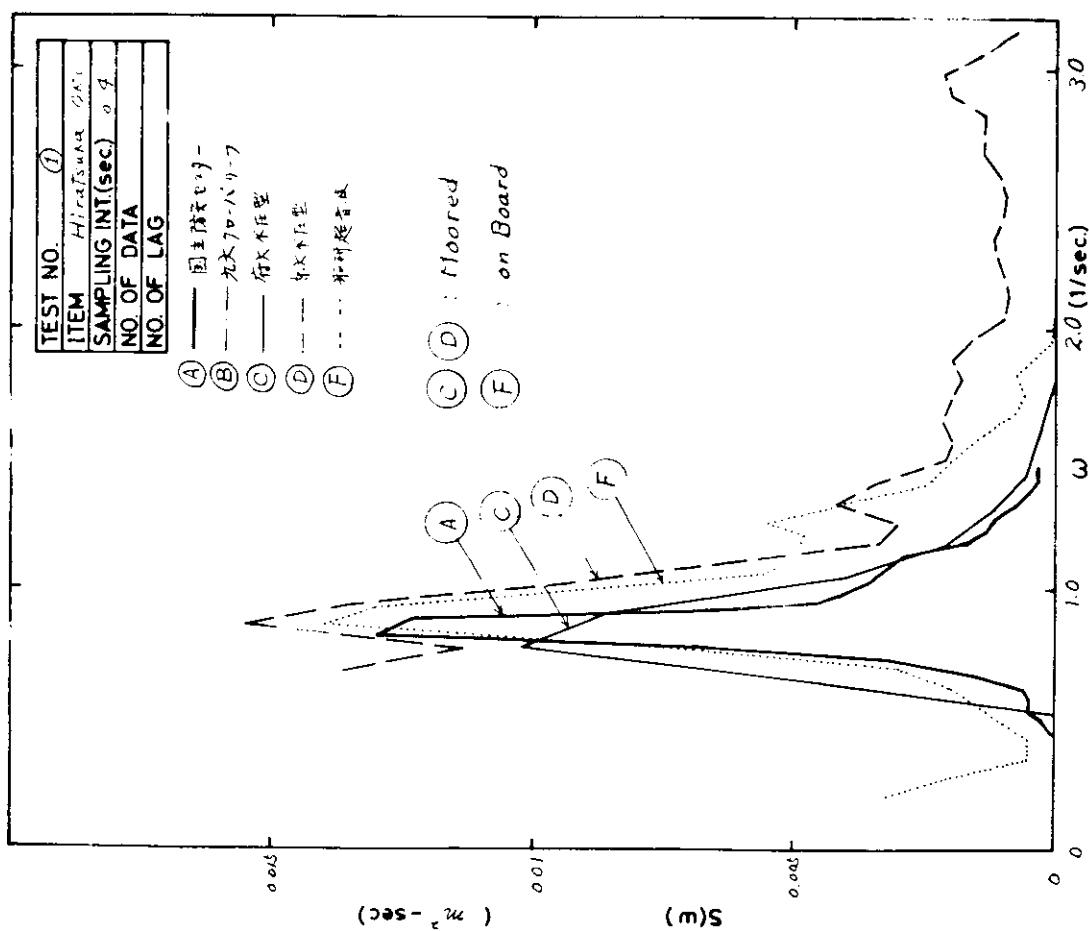


FIG. 6.1-5 ESTIMATED POWER SPECTRUM

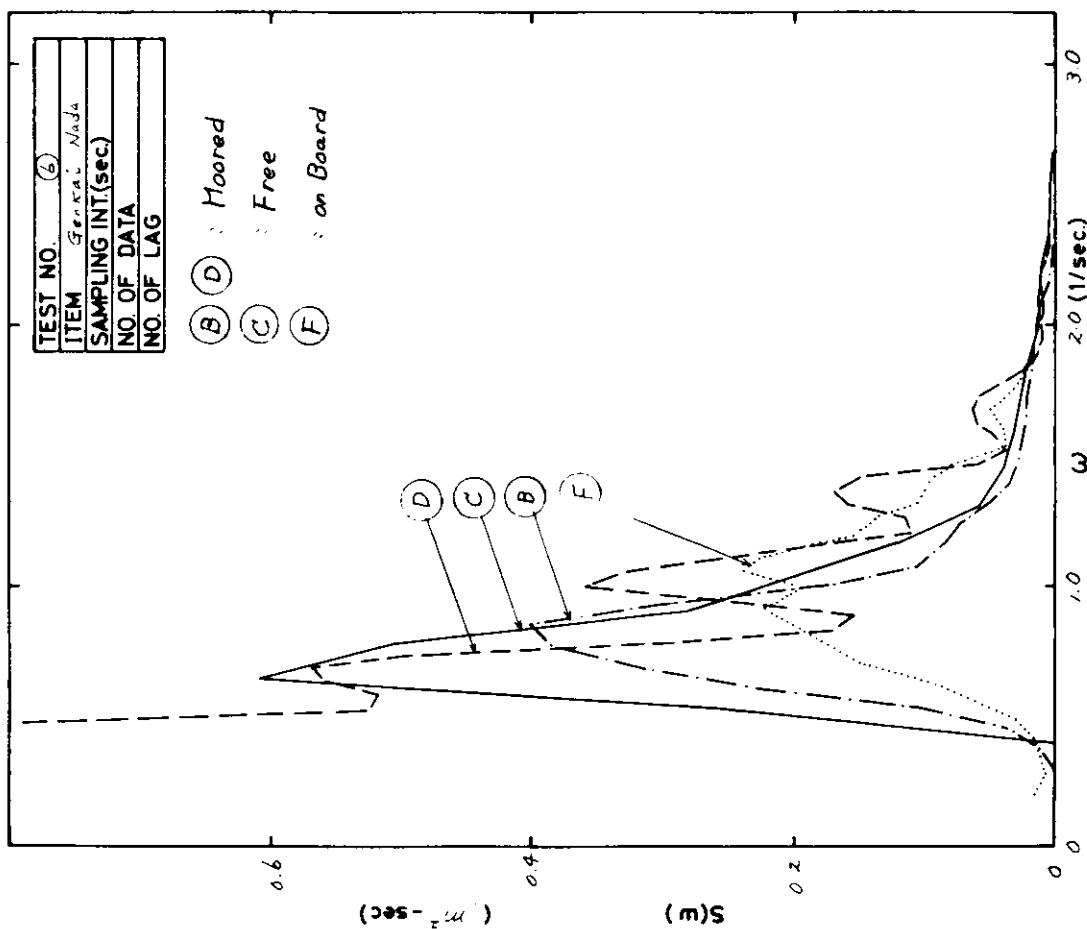


FIG. 6.1-7 ESTIMATED POWER SPECTRUM

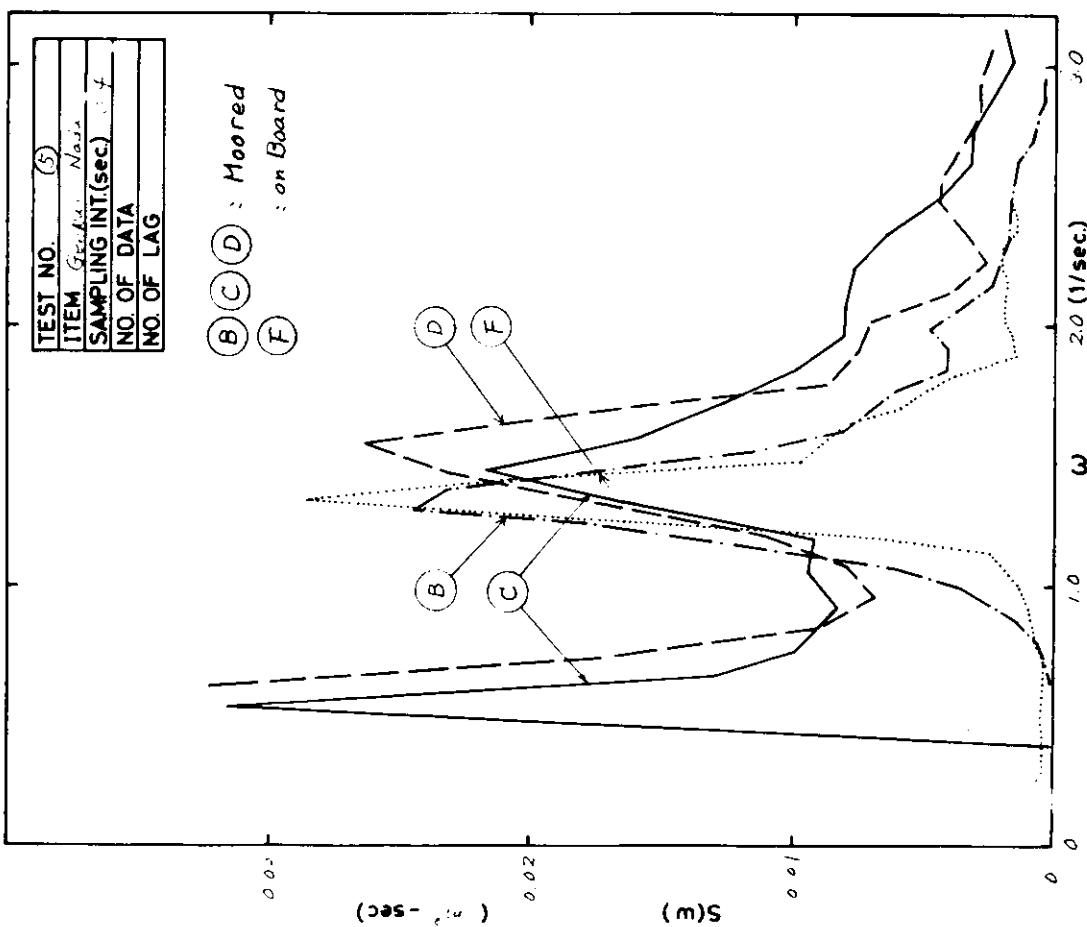


FIG. 6.1-6 ESTIMATED POWER SPECTRUM

DATA NO. = 550/3

550/3 (1971.2.14)

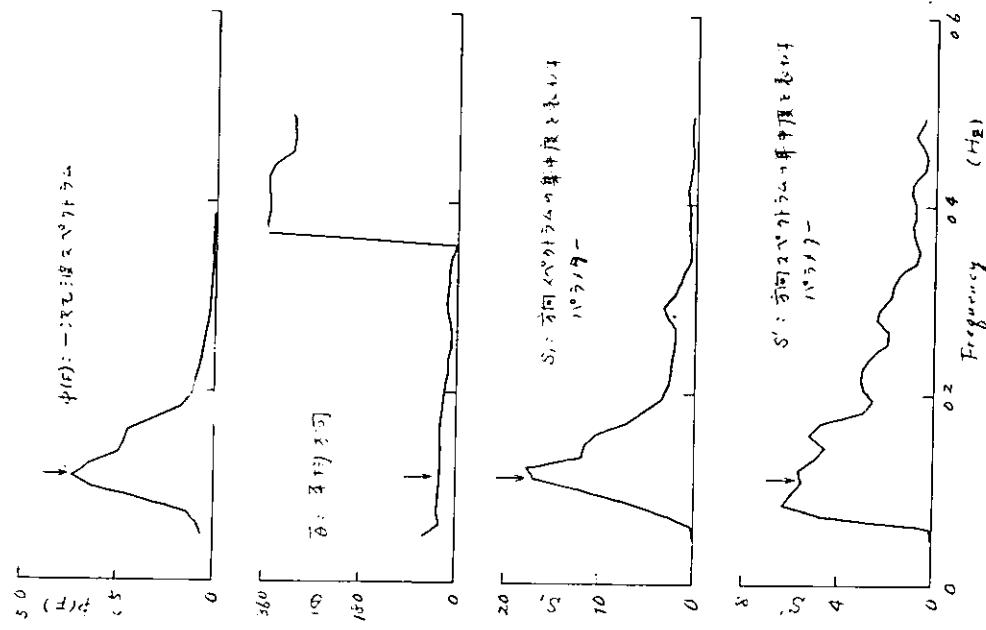


圖 6.1-8-2 70-8型收音机设计结果

1971-2-17 0-802-170-8型收音机设计结果(2)

6.2. 箕木山丸における計測

6.2.1 計測計画

鉱石運搬船「箕木山丸」(大阪商船三井船舶)による実船計測に関して、計測員の配置を SR-124 関係の計測員も含めて表 6.2.1 に示す。

波浪計測の方針は、波浪計の駆使使いをできるだけ避けるように心掛けようとしたし、実施に当っては計測員の判断に任せることとする。計測項目は、次に示されるとおりである。

- (1) 波浪計測：デジタルデータ記録およびモニター用アナログ記録
- (2) レーダー PPI 映像の撮影および A スコープ V.T.R. 録画
- (3) 海象の目視観測（当直士官にも依頼）
- (4) 本船計器による気象データの記録および本船状態の記録

6.2.2 計測準備工事

計測準備工事は、昭和 48 年 12 月 4 日～12 月 14 日の本船入渠中に、三菱重工神戸造船所において実施された。工事の主なものは、波浪計関係は、

- (1) 計測室内の計器配置
- (2) 波浪計データ記録および配線
- (3) 受信アンテナおよびレーダー配線
- (4) 通電テスト

レーダー関係は、

- (1) 計測室内の配置
- (2) 本船レーダーからの信号出力とり出し
- (3) 本船マイクロラウの信号とり出し
- (4) 信号線の配線

6.2.3 実験

(1) 概況

箕木山丸は、昭和 48 年 12 月 15 日、三菱重工神戸造船所を出港、12 月 25 日午後 Port Hedland 港外の锚地に到着した。復航は、昭和 48 年 12 月 28 日正午、Port Hedland を本港し、昭和 49 年 1 月 8 日午後、神戸港外和田岬沖に到着した。
図 6.2.4 に、箕木山丸の往復航の航跡を示す。

往復航とも、全体としては比較的穏やかな航海であったと言える。往航では、12 月 16 日、18 日にやゝ波が高かった。復航では、12 月 29 日～30 日にかけ

て“サイクロン”的余波を受けて、かなり高さがあり、風浪が見られた。
た。1月4日には、太平洋上でのかなり高さがあり、風浪が見られた。

波浪計は、20個搭載し、往航7回、復航13回の計測を実施した。合計20回の実験のうち、14回は解析可能な記録が得られた。

一方、レーダー関係は、装置の完成、調整が遅れたため十分な計測を実施することができなかつた。

(2) 実験

波浪計の投入状況、レーダー映像の撮影状況を表6.2.3に示す。往航ごとに往航で1回、ランチャーを使用したが、落下姿勢が悪く、落下距離が大きすぎたため、他の実験では、ロープを用いて投入した。図6.2.5に、ロープによる投入の概要を示す。本船の船尾乾舷は、往航で約12~13m、復航で約9mであるため、ランチャーによる投入は、落下姿勢が悪い上に落下衝撃も大きく（往航では水面上16m以上の落方に相当）、改良しなければ使用できなかつた。

レーダーのPPI映像の撮影は、往航3回、復航1回実施した。しかし、本船レーダーの映像に比べて、計測室のモニターレーダーの映像はかなりボヤけて、余り良い写真は撮れなかつた。また、本船レーダーへの影響も少なかつずあり、たゞうに思われる。

V.T.R.によるAスコープの録画は、前回述べたように、装置の調整不良、あるいは取扱いの不慣れ、不手際等のために成功しなかつた。

実験に際して、本船計器の読みとり、目視観測は、本船の当直士官、計測員が行なつた。表6.2.4に実験実施時の気象、海象および本船状態を示す。

6.2.4 計測結果

図6.2.6、図6.2.7.に、それぞれ穏やかな海象における計測および比較的荒れた海象における計測のアナログ記録例を示す。

データの詳細な解釈は、集録した紙テープを電算機処理することによって行なわれるが、解釈結果の報告は次年度に行なう。本年度は、アナログ記録の解釈に留めておく；アナログ記録の解釈は、並列振幅を約20cmとして統計解釈を行なつた。解釈結果を表6.2.4に示す。

本船レーダーのPPI映像の撮影例を図6.2.8に、また、モニターレーダーのPPI映像のポラロイド写真の一例を図6.2.9に示す。

6.2.5 考察

(1) 波浪計測

波浪計測に関して是付いた点は、

- i) 波浪計の製作むらの改良
- ii) バッテリーの装填方法の改良

III) 波浪計機入用ランチャの改良
等であり、特にテレメータリングに関する所。

IV) 電波の到達距離は、気象状態の影響を受け易い。すなわち、晴天ではかなり長い到達距離が得られ、(Max. 30km) 雨天あるいはスコール等の場合到達距離は短い。

V) 本船の無線によるノイズはかなり大きいが、受信機に損傷の起るとはない。しかし、記録されたデータには明瞭に現われるので十分に注意するべきである。

アナログデータの解析結果は、目視観測値と比較してやや低目の値となつてゐる。本船のBridgeのように、水面より25~29mの高さから観測値は一般に高めの値となるようである。しかし、全般的には目視値との差はあまり大きくはないと考える。

アナログ記録に表かされるように、本波浪計はドリフトも殆んどなく、また、その波に対する追従性も優れていることから、前述したような改良を施せば、さうに信頼度が高くなると考えられる。

図6.2.1, 図6.2.9, より、モニターレーダーの映像は、本船レーダーより約2.5mの長のCarrieを通して送された信号を受けているため、Tuningも非常に難いし、鮮明な映像を撮影することは困難であることが理解できる。航海中船舶のレーダー映像のV.T.R.録音、再生、解析の試みは、少出社にてなされた事柄である。未だ多くの問題点が未解決のまゝ残されてゐることもある。今後の実験を通して、改良、開発がなされいくことを考える。

6.3. ハセダ

本実験により波浪計測は、現在のところ成功率70% (14/20) であり、一定満足できる成績であると判断する。今後もこのよくな実船試験を続けていき、これは重要な事である。

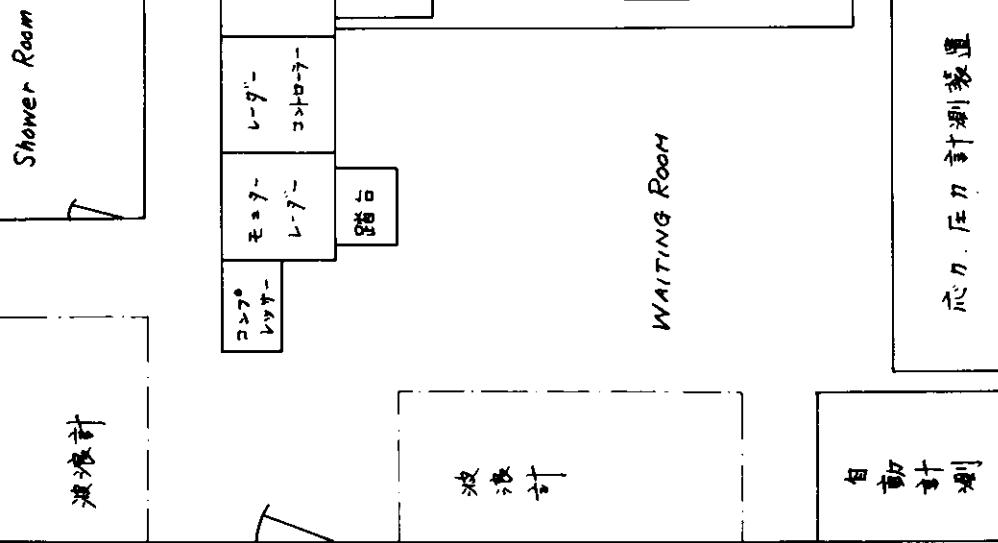
最後に、本実験に際してお世話をなつた関係各委員、大阪商船三井船舶KK. の関係各位、三菱重工業関係者各位、波浪計の製作に当られた神戸電波KK. の関係者各位、レーダー関係の製作に当られた日本電線KK. の関係者各位に特記申上げる。また、星本山丸乗組船中お世話になつた、吉本船長はじめ乗組員の方々に厚く御礼申上げる次第である。

表 6.2.1. 乗船計測員(計画)

	第1航	第2航	第3航	第4航	第5航
SR132	細田 (大阪府大)	井上 (神戸商船大)	池淵 (川崎重工)	田口 (大阪府大)	
SR124	能勢 (東京大学)	久保寺 (共和電業)	花本 (三菱重工)	湯原 (三菱重工)	小畠 (東京大学) 安藤 (三菱重工)

表 6.2.2. 工事日程

作業内容	4 火	5 水	6 木	7 金	8 土	9 日	10 月	11 火	12 水	13 木	14 金	15 土
笠木山丸 入渠												出港
計測室内の 木工事			←→									
計測室用 電源工事			←→									
計測機器 搬入			←→									
計測機器 結線・固縛				←→								
調整、テスト					波浪計			←→				
波浪計搬入											←→	
ランケヤー掲付 配線				←→								



PASSAGE

表 6.2.3 波浪計測実験

番号	日時	位置 Lat. Long.	船速 (kts.)	高さ H (m)	搭載 時間 (min.)	備考
1	48.12.16 08:00	29-50'N 134-15'E	13.5	1.3	9	Launcher Rader
2	48.12.16 14:00	28-35'N 133-45'E	13.5	1.3	0	Launcher Rader
3	48.12.16 14:45	28-35'N 133-40'E	13.5	8	0-	Rope
4	48.12.17 14:10	20-00'N 133-00'E	13.5	5	0	Rope Rader
5	48.12.18 14:00	18-00'N 131-00'E	13.5	5	0	Rope Rader
6	48.12.18 14:40	18-00'N 131-00'E	13.5	5	0	Rope Rader → 機構
7	48.12.24 13:20	14-00'N 120-30'E	13.5	5	0	Rope
8	48.12.29 07:30	16-40'N 119-00'E	12	9	0	Launcher Rader
9	48.12.29 07:35	16-40'N 119-00'E	12	5	0	Rope Rader
10	48.12.29 13:05	15-30'N 120-00'E	12	5	0	Rope Rader → 機構
11	49.1.2 13:25	4-00'N 128-00'E	12	7	0-	Rope Rader
12	49.1.2 13:40	4-00'N 128-00'E	12	5	0	Rope
13	49.1.4 08:47	13-54'N 127-42'E	10.5	5	0	Rope
14	49.1.4 14:05	14-00'N 130-00'E	11	5	0	Rope
15	49.1.4 14:30	14-00'N 130-30'E	11	5	0	Rope Rader → 機構
16	49.1.4 16:10	14-25'N 149-42'E	11	5	0	(40) Rope Rader
17	49.1.5 13:00	18-33'N 130-30'E	11	5	0	Rope
18	49.1.6 13:05	23-00'N 131-30'E	12.5	5	0	Rope
19	49.1.7 10:10	27-44'N 132-43'E	12.5	5	0	Rope
20	49.1.8 09:40	32-44'N 134-06'E	12.5	5	0	Rope

Note : Launcher 使用時

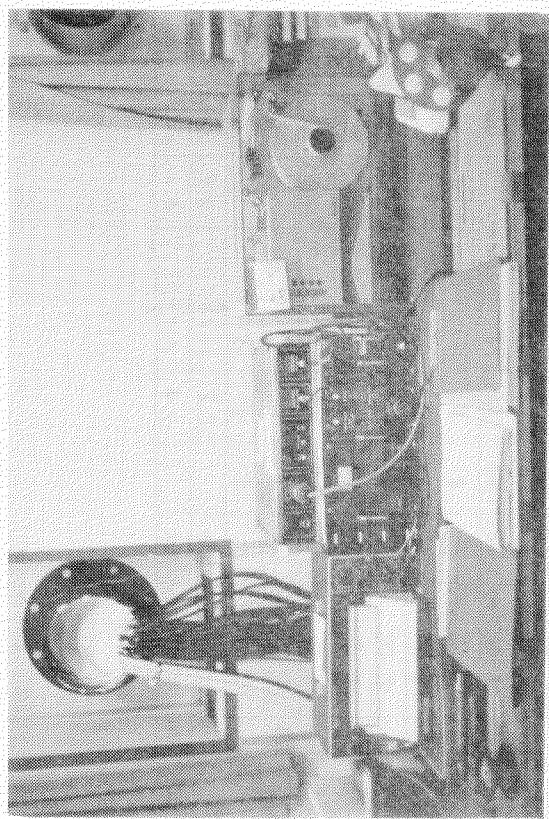
Rope 使用時



図 6.2.1 測量室 内配置

表 6.2.4 実験中の気象・海象・本船状態
Table 6.2.4 Results of Meteorological and Hydrological Conditions and Ship Status during the Experiment

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
計測日時	12-16 12-16	12-16 12-17	12-18 12-18	12-18 12-24	12-24 12-29	12-29 12-29	12-30 12-30	1-4 1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-8
船台速 M	13.5	13.5	13.5	13.5	13	13	13.5	12	12	12	12	12	13.5	13.5	10.5	10.5	11	11	11.5	11
船台速 M	0	192	192	192	195	195	208	030	030	028	012	012	012	012	012	012	012	012	013	020
主機回転数 rpm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
載貨状態								91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	
天候	C	bC	bC	c	R	r	P	C	C	A	bC	bC	C	bC	bC	bC	bC	bC	bC	
気温 °C	15	15.5	15.5	23.5	27.5	27.5	33	28.5	28.5	29.5	33	33	33	27	28.5	28.5	28.5	28	25	
海水温 °C	20	20	20	23	27	27	30	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	23	19
風速 F/m	10.11	10.3.5	10.3.5	10.8	10.3.5	10.3.5	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	
相対風向	100.5	104.5	105.5	110.5	110.0	110.0	110.0	020.5	020.5	045.0	045.0	045.0	045.0	045.0	005.0	005.0	020.5	020.5	015.5	
絶対風向	31.5	32.5	32.5	35.5	40	40	40	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	32.0	32.0	32.0	32.0	30.0	
相対風速 m/s	3.0	1.8	1.8	5	17	17	17	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1.6	1.6	4.3	3.8	4.0	
絶対風速 m/s	3.5	2.4	2.4	1.6	3.4	3.4	4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.3	3.3	2.8	2.8	3.4	
風力階級	7	6	6					3					6						7	6
方位																			4	4
波高 (m)	4	3.5	3.5	2	3~4	3~4	1	4~5	4~5	4	2	2.5	2.5	2.5	4	4	3.5	4	2.5	2.5
波長 (m)	100	80	80	150	150	150	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
周期 (sec)	8	8	8	11	10	10	10	4	4	4	7	7	7	7	8	8	8	7	7	
階級	4	4	4					1			4							4	3	2
風波高 (m)	1	1	1	2.5	2	2	2.5	3	3	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
波長 (m)	10	15	15	15	20	20	1	4.0	4.0	4.0	0.3	0.3	0.3	0.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
周期 (sec)	2	3	3	3	4	4	1	4	4	4	1	1	1	1	6	6	6	5	3	3
1階級	5	5	5	5	2	2		4	4	4								5	4	3
有義波高 (m)	3.0	2.2	1.7	2.9	1.1	2.7	2.9				1.8	3.5	3.7					3.2	2.1	2.5
平均波周期 (sec)	7.1	7.4	7.5	8.1	10.1	7.6	8.2				7.8	9.0	8.5					7.1	6.9	8.4



(1) 波浪計測機器



(2) $\tau = \gamma - \gamma'$, コントロル装置, V.T.R.

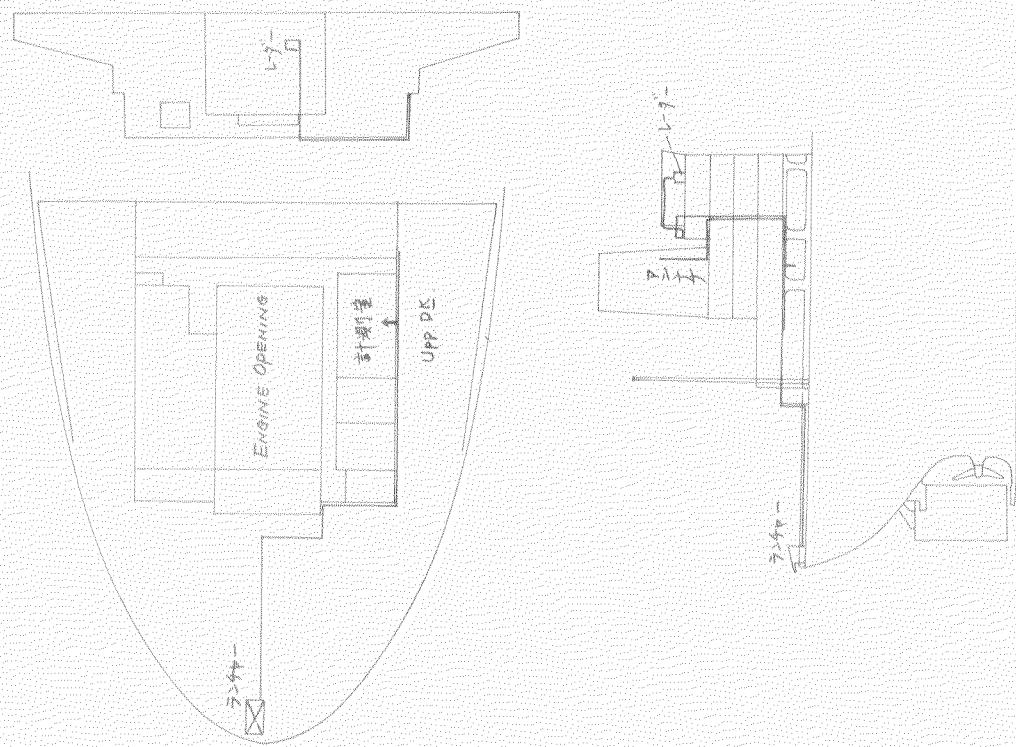


図 6.2.3 配線図

図 6.2.2 計測機器

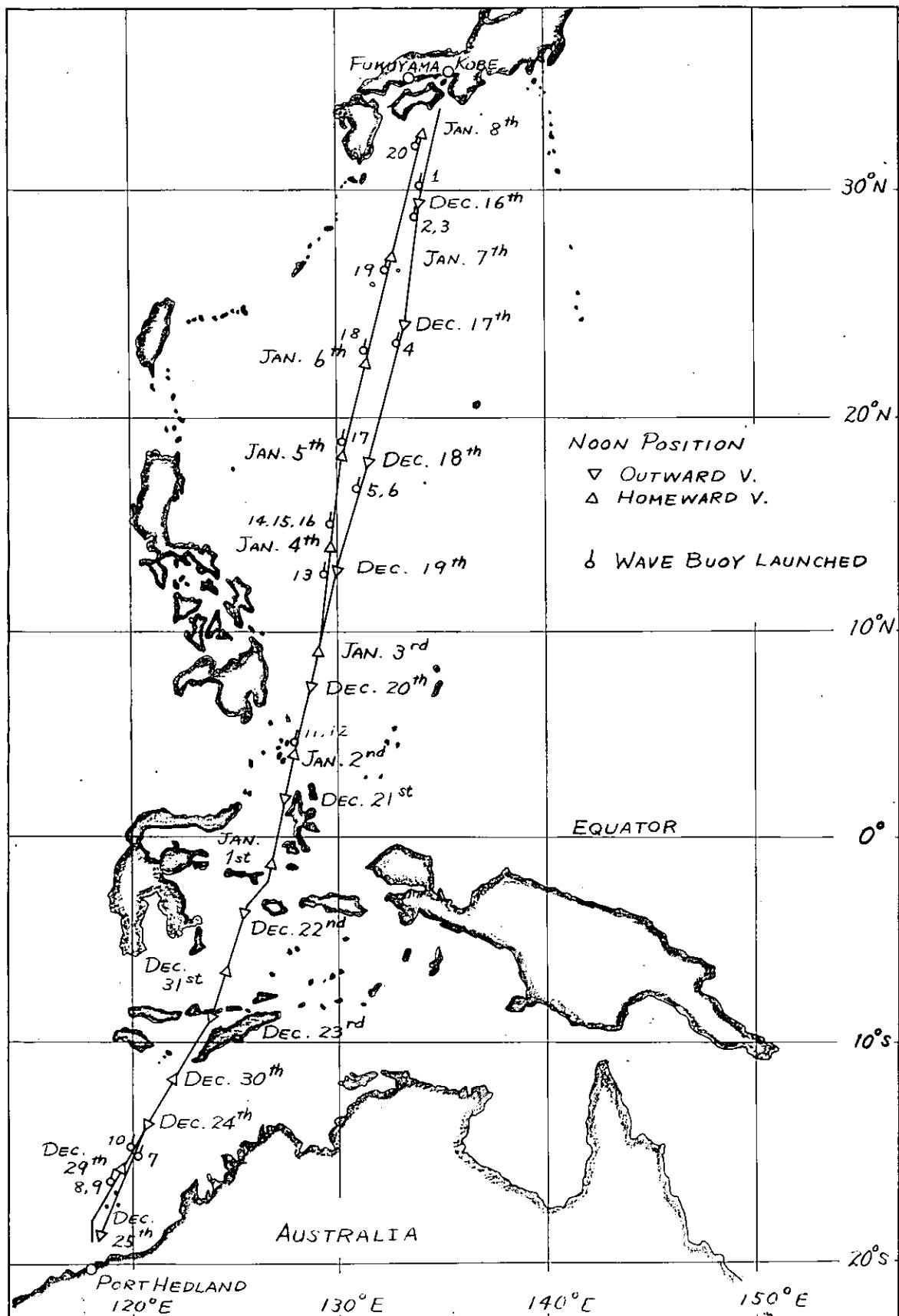


図 6.2.4. 箕木山丸航跡図

No. 7	Dec. 24 ^m	972
13:20 - 13:40		
(14:00 S., 120-30 E.)		
		1 m
天候	Passing Shower	10 sec
气温	33°C	
水温	30°C	
气压	1017 mb	
风向	NE	
风速	280° 8 kt	
浪	2.50° 1 m	
直	2.50° 1 m	
波高	0.3 m	
周期	4 sec	
		1 sec

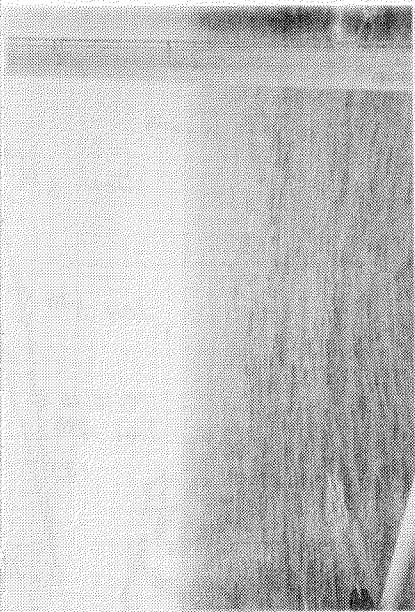


图 6.2.6 波浪计测制（像一〇三海）

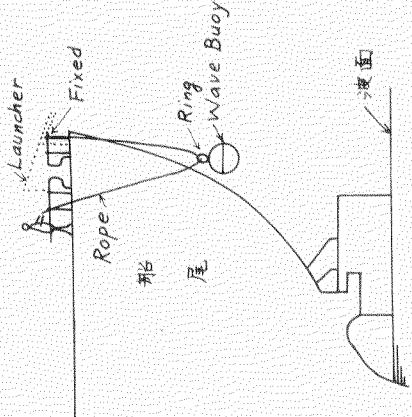


图 6.2.5 口-7°K & 3 投入概略

No. 19 JAN. 4th 1974

08:47 ~ 09:37
(13°54' N, 127°42' E)

1m

	天候	Cloudy	
空	气温	27°C	10 sec
	水温	28°C	
視	気压	1009 mb	
観	風向	025°	
測	風速	3.0 m/s	
	波浪		
恒	方向	040°	方向
	波高	7 cm	5 cm
	周期	8 sec	10 sec



図 627 波浪計測例(荒れた海象)

range 1.5'

図 6.28 L-7'-PPI 映像 (本船 L-7')

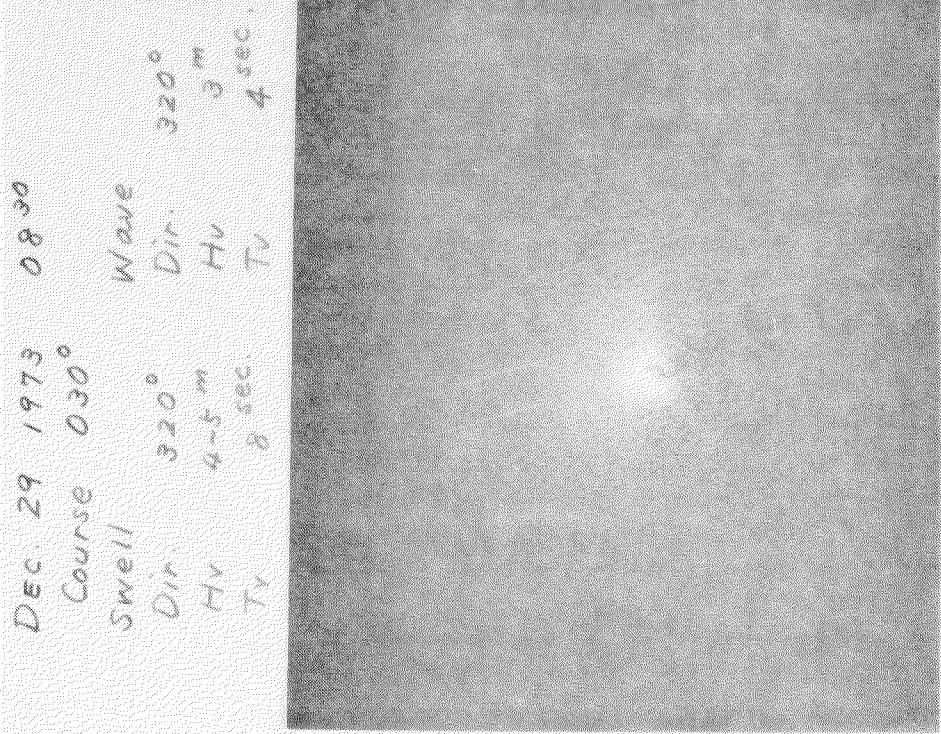
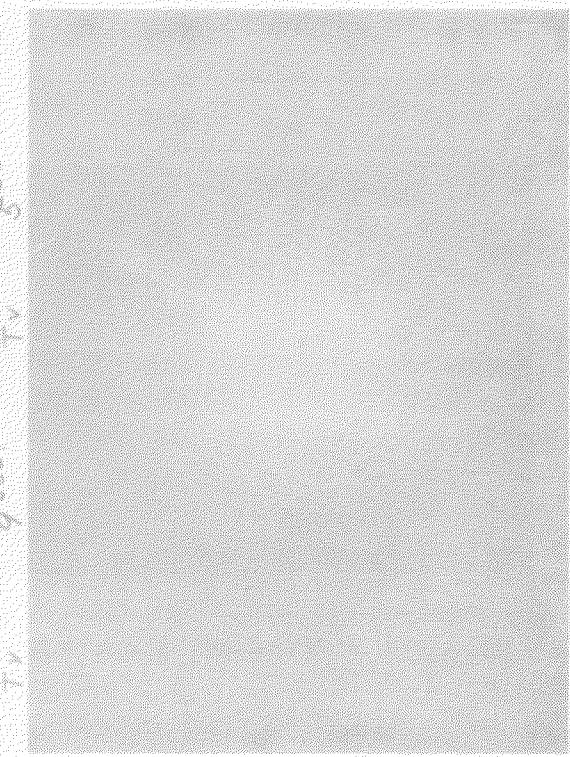


図 6.29 L-7'-PPI 映像 (本船 L-7')

6.3 SR125 関係実船実験

昭和48年度 SR125研究部会で行なわれた実船実験で本研究部会供出の波浪計による波浪計測が行なわれたのでその概略を報告する。

6.3.1 穂高丸による実船実験

昭和48年12月12日から昭和49年1月14日まで日本郵船・昭和海運共有的穂高丸による冬季PNW航路の耐航性能実船実験が実施され計測項目の一つである海象調査として投棄式波浪計による波浪観測が行なわれた。波浪計は3章に述べた形式のものを20台用意し船尾にランチャーを搭載した。今航の航跡図を図6.3.1.Aに示す。本航に先立って全計測機器の予備テストを行なった際、浜松沖にてランチャーを使用して波浪計を1基投棄し予備テストに成功した。波高は0.7m程であった。外洋航海中は図6.3.1.Bに示すとおり、往航に4基投棄しこのうち3基によって波浪を記録した。この間ランチャーのJunction Box内のヒューズ(ソレノイドマグネット焼損防止用)が合計3回切れたため1基は手で投棄した。外地入港中にこのヒューズを導線で短絡し復航に備えた。復航ではランチャーで5基、手で2基を投棄し、内4基によって波浪記録を得た。したがって今回の実船実験では予備テストを含めると12基中8基による波浪記録がとれ、この中で最も大きい波は目視波高7mであった。他の4基は投下と同時に電波の途絶えたもの1基、電波は受信しているものの波形にならないものが2基、同じくScale outしてゼロ調整の効かないものの1基という状態であった。

目視観測は順番制でBridgeを担当する2人の計測員と本船当直者の観測値を取り入れた。今航中遭遇した波の最大波高は目視で約10m有り往航中低気圧に追いつかれた時に見られたものである。Bridgeから見たときに船を追い越してゆく波の谷がそれに続く山の陰に隠れてしまうのが観察された。

今回初めて使用したランチャーの動作は復航時は完全に働き破損や故障等はなかったが取扱いの面で1台の重量が約80kgであるため船上での運搬や取り付けに手間取ること、発射時の波浪計の落下姿勢が不安定である等の点に改善の余地はある。

6.3.2 ニュージャージーによる実船実験

昭和49年2月11日から同年3月29日まで大阪商船三井船舶所有のニュージャージーによるニューヨーク航路の耐航性能実船実験が実施され波浪計測について6.3.1と同様の実験を行なった。

WEATHER CHART

No.3 NORT

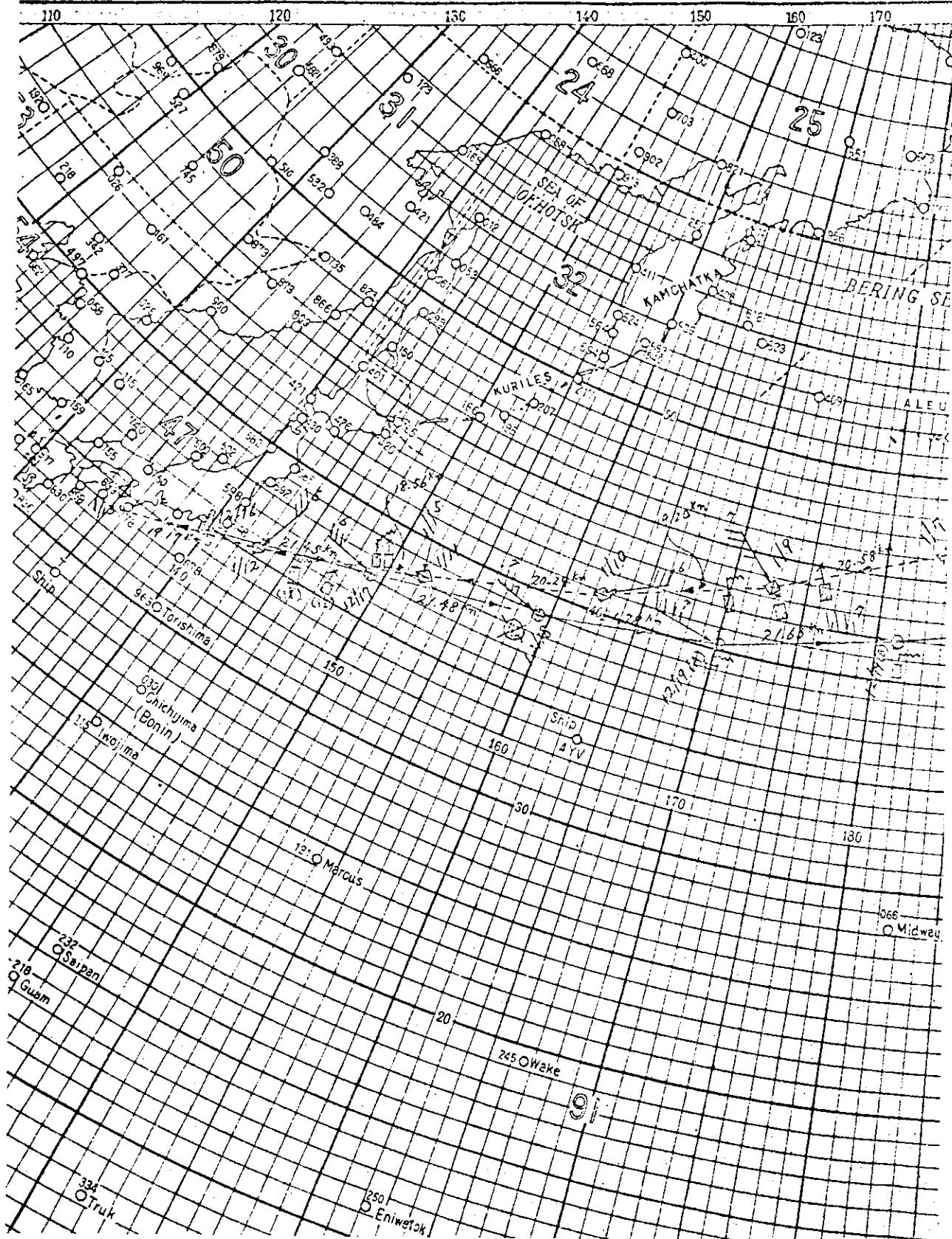


図 6.3.1.A 穂高丸航跡図

HT号・372次航路図

6.3 NORTH PACIFIC OCEAN

LAMB
EICAL

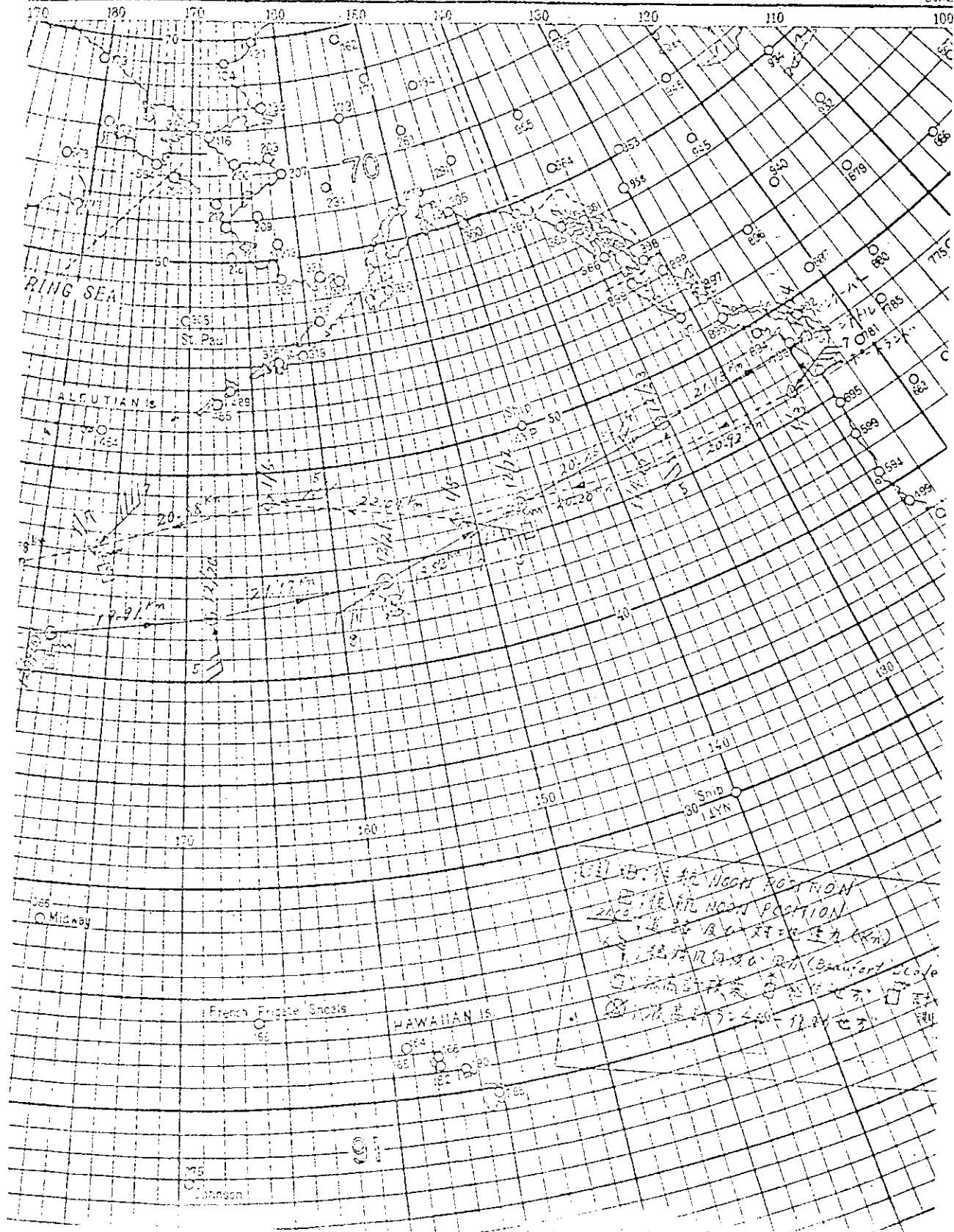


図 6.3.1.B 穂高丸航跡図

6.4 レーダー波向観測について

6.4.1 実施観測概要

本研究におけるレーダー波向観測は次の三つに分けて実施された。

1) 進徳丸(航海訓練所) 2回

i) 昭和48年2月

ii) 昭和48年7月

2) 深江丸(神戸商船大学) 3回

i) 昭和48年8月

ii) 昭和48年10月

iii) 昭和48年11月

3) 笠木山丸(大阪商船三井船舶K.K.)

昭和48年12月より継続中

進徳丸および深江丸の観測は笠木山丸の本観測に備えての予備観測および基本的事項の調査の目的で実施された。

進徳丸の観測では、昭和47年度に作製した制御装置および撮影装置の作動状況・調整の調査、外洋でのレーダー映像上の波の写り具合、Aスコープと波浪との調査に重点がおかれた。

深江丸の観測では、進徳丸で発見された機器の改善と信頼度を確認すること、およびレーダー電波の偏波面による、波浪の受信状態の検討に重点がおかれた。

6.4.2 レーダーのPPI映像について

(1) 装置について

使用したレーダーは進徳丸航海用レーダーで、東京計器製MR50型3cm波、ブラウン管16吋のものである。

レーダー指示板上にレーダー写真撮影用フードをのせている。このフードの上部には35mmカメラ(キャノンF-1、250枚撮り連続撮影用)がとりつけられ、シャッターの起動時刻および開放時間は制御装置により制御される。このフードには「年月日時分」デジタル発光表示盤がくみこまれており、その表示は制御装置によって同じく制御される。レーダー映像撮影のとき、この時刻も同時に写しこまれる。なお35mm連続撮影装置が不調のときは、1枚づつ撮影するため通常のカメラ(ニコンF)も使用した。

(2) 気象・海象とレーダー映像の時間変化について

昭和48年2月16日潮岬沖、午前の風は微風であったが、その後風力は増し、レーダー映像もよく変化した。この時間的経過を次に7枚のPPI映像写真にて示す。

なお、時刻および方位信号の表示は、数字の頭部がかくれたり、ジャイロ方位に誤差があって、必ずしも写真に示されているとおりではなく、正しいものを写真の横に示しておく。

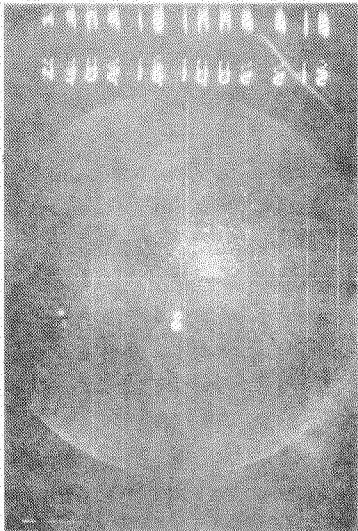


写真1 48・2・16

時 刻 1002

針 路 267°

速 力 10.5ノット

風 向 N E、2.5 m/s

レーダー半径 1.5浬

PPIのサー・クラッターがN E方向に集中している。360° 方向と270° 方向に中心より出ている線は、北と船首方向を表わす電子カーソルの線である。

表示部末尾3桁は方位で、212と見えるのは272の7の上部が欠落したためと、ジャイロ指示に5°の誤差が入った。

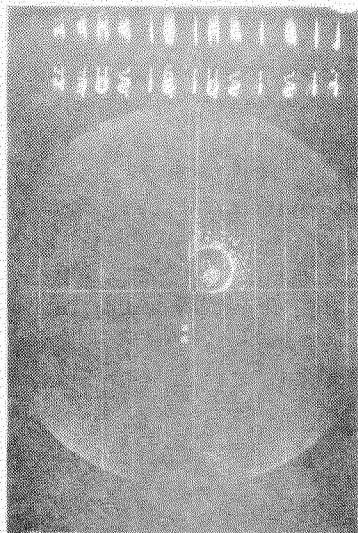


写真2 48・2・16

時 刻 1027

針 路 277°

風 向 N E、3 m/s

レーダー半径 1.5浬

進徳丸360° 旋回中の写真で、本船の航走波が円形になって写っている。

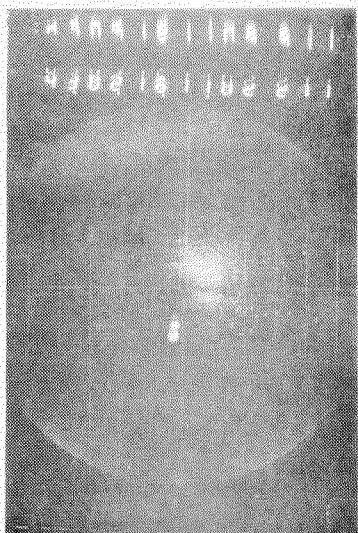


写真3 48・2・16

時 刻 1102

針 路 264°

風 向 N E、5.5 m/s

レーダー半径 1.5浬

写真1および2と比較して、風速が強くなり、海面反射も強く出て、波峰線らしき線も認められる。

N Eから中心部にかけて平行した線群がそれである。

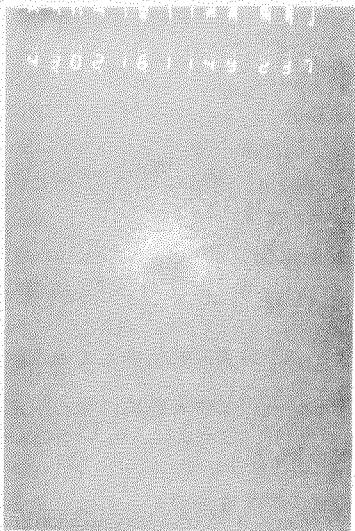


写真4 4.8・2・16

時 刻 114.9

針 路 23.2°

風 NNE、5 m/s

レーダー半径 1.5 漉

風向が北の方へ廻り、それにつれ海面反射も北の方が強くなる。

写真5とくらべると海面反射の範囲が広くなっている。

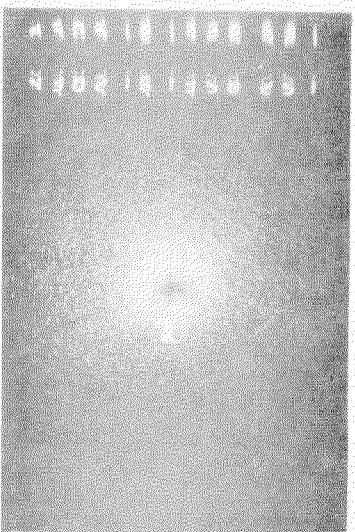


写真5 4.8・2・16

時 刻 135.8

針 路 24.6°

風 NNW、8 m/s

レーダー半径 1.5 漉

写真4にくらべて風は更に増し、北からNNW方向からの海面反射が増す。

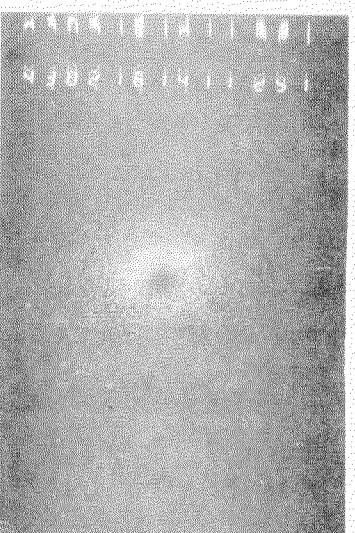


写真6 4.8・2・16

時 刻 141.1

針 路 24.6°

風 NNW、8 m/s

レーダー半径 1.5 漉

写真5とくらべて風に差はないが、NNWからの波峯線が顕著に認められる。

写真5の方が海面反射が強く見えるのは、カメラの絞りのために、写真5のf=4に比し、写真6はf=8で撮られたものである。

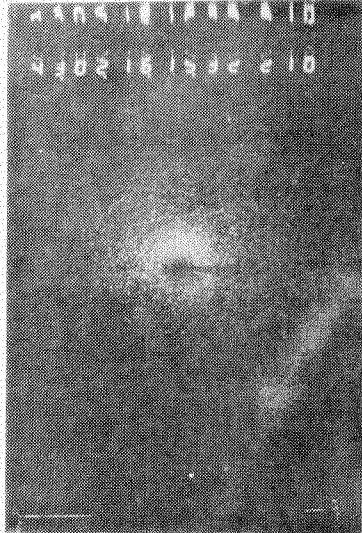


写真7 4・8・2・16

時 刻 1532

針 路 264°

風 North, 7 m/s

レーダー半径 1.5 浬

写真6より幾分風が落ちて、波も少し小さくなり、海面反射も少なくなった。

(3) レーダPPI映像上の波峯線について

海面反射であるレーダ映像は、レーダ電波がアンテナより発射されて、海面にあたりそのまま反射して直接アンテナに入るものもあるし、あちこちと散乱反射してアンテナに帰るものもあって、レーダ映像として映ったからといって、そこに波があるとは言えないと言われている。しかしレーダPPI映像面には風上側から平行に連続した波峯線らしきものが映ることは確かである。

そこでこの波峯線らしきものを一尾波峯線として、レーダー映像の写真より波峯線の間隔を測った。

3.5mm判カメラによって撮影したPPI映像を、四ヶ切大に引伸し、その上に半透明紙を重ね、波峯線と思われる線をトレースし、これらの線が比較的整然と並んでいる部分を選び、6~8本の間隔を測って平均したものを波峯線間隔とした。

波浪計による解析結果が利用しうる時間の波峯線の間隔の値は次のようなであった。

	波 峰 線	波浪計解析結果
2月16日	1431~1448の間	大阪府立大型
PPI映像	5枚	曳 索 なし
平均間隔	4.5 m	$\bar{T}_o = 4.0$ 秒
2月19日	1003~1130の間	大阪府立大型
PPI映像	4枚	曳 索 なし
平均間隔	6.8 m	$\bar{T}_o = 6.3$ 秒

これらの波峯線らしきものの間隔を波長と考え、波浪解析結果の平均周期から、単純に、 $L = 1.56 \bar{T}^2$ あるいは $L = 1.0 \bar{T}^2$ といった関係式と比較すると、得られた周期から求めた波長より、波峯線らしきものの間隔は大分長いと言える。

レーダ映像面の半径によって大分画質が異なるように見える。上記の結果はレンジ1.5浬のものである。レンジ0.75浬のものについても同様の解析をした。この方は波峯線間隔は1.5浬のものにくらべて約30%ほど短かい結果をえた。しかし画質としては1.5浬レンジの方が波峯線が認識しやすい。なお、レンジが0.75も1.5浬もともにレーダ・パルス幅は同じである。

大きいうねりが認められるときは、レーダ映像面に大きな縞模様が現われるのがよく見られるが、この観測では

風波のみでうねりのエコーは見られなかった。

6.4.3 レーダ、Aスコープの映像について

進徳丸のレーダ・スキヤナーを船首方向に向けて固縛し、八角形航走中、ブラウン管オシロスコープ上に映されたAスコープをポラロイドで撮影した。撮影は1/60秒のシャッターで行なわれた。

写真8にAスコープの9枚の写真を示す。風向と船首方向の関係は下図の通りで、写真8-6と真中の写真是ほぼ風に向いたときのAスコープでどちらもほぼ同じ方向である。

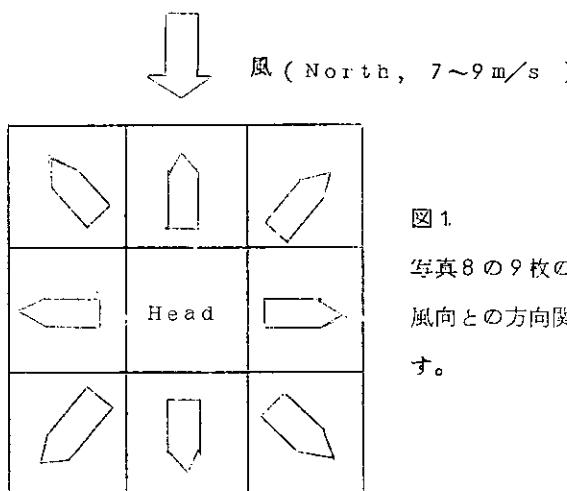


図1
写真8の9枚の写真と
風向との方向関係を示
す。

八角形航走中であるので各方向は45°づつの差である。

図8のAスコープの写真からも判るように、船首が風に向いたときのエコーは強く、また遠くからのエコーも返ってくる。

ポラロイド写真の格子は1目盛が $5 \mu\text{sec}$ であって、750mの距離に相当する。

なお、このままでは波峯線の間隔までは認識できなかった。

6.4.4 レーダ電波の偏波について

普通の航海用レーダの電波は水平偏波で受信している。

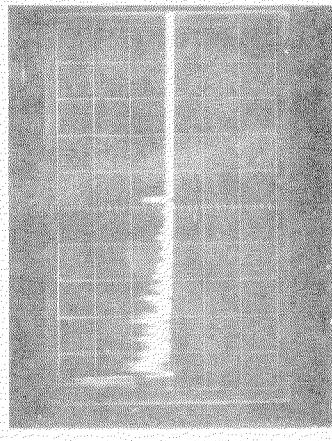
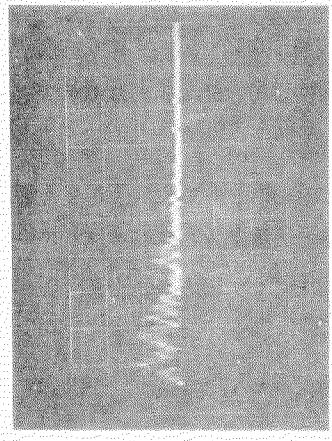
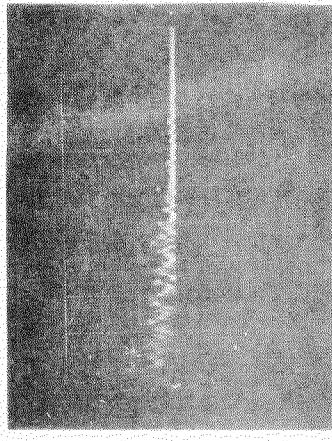
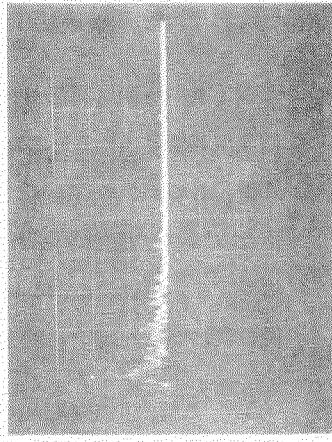
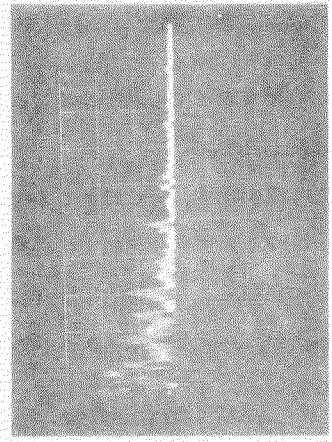
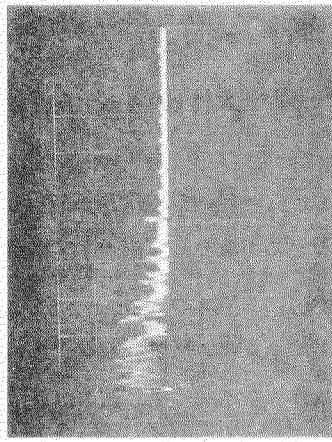
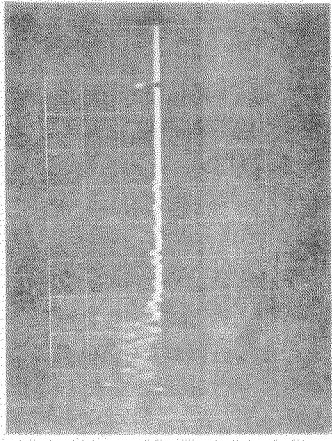
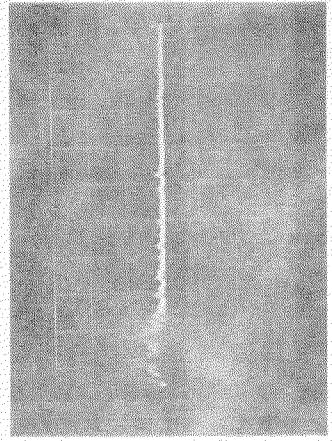
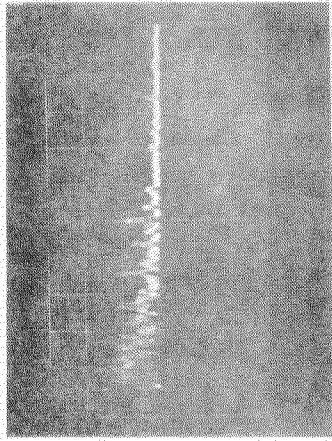
しかし伏角が小の場合、垂直偏波での送受信の方がエコーの強度が強いと言われている（Handbook of Radar, Skolnik 編、第26章Sea Echo 参照）。

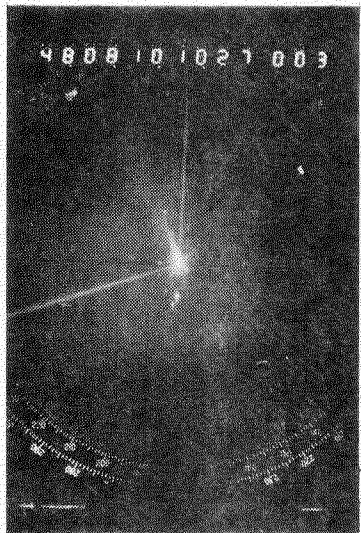
とくに海面が穏やかなとき、水平偏波のエコーは垂直偏波に比し、著じるしく低い。風力が大きくなるにつれて、その差は縮まる。ときには荒れた海では逆に水平偏波の方が強くなることも報告されているが、それは風向と垂直にスキヤナーを向け波の谷と平行になったときにそうなるとも言われている。

深江丸のレーダは東京計器製MR-50型、3cm波16時で進徳丸と同機種であるが、本レーダでは水平偏波と円偏波の2種の電波が発射できるようになっている。

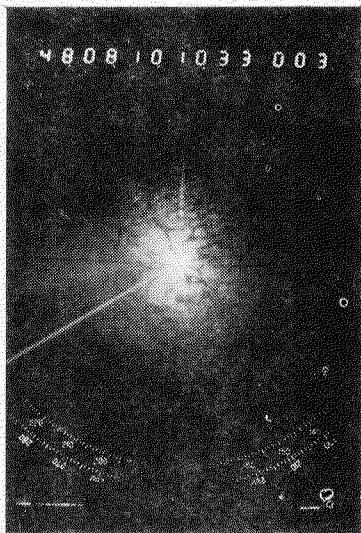
円偏波で発射した電波は海面にあたったとき、いろいろな角度になっているであろうが、その中には垂直偏波に近い角度で反射されるものもあるであろう。もし垂直偏波の海面反射が上記のよう強いならば、水平偏波のみの海面反射よりも、上に述べた理由により、円偏波のエコーは強く受信されるはずである。

写真8 波に対するレーダー電波の方向とアンスコープ





(a) 水平偏波 1029



(b) 円偏波 1032

写真9 昭和48年8月10日 海面ビューフォート階級1のときの偏波のちがいによるPPI映像、レンジ0.75浬

このときの海面はおだやかで、レーダの利得をあげても水平偏波ではレーダ・スコープ上に現われなかつた映像が、円偏波に切り換えると写真9(b)のように現わされた。

なお、このときの海上には、ところどころ風が吹き、そのところではいわゆる Cats-Paw と呼ばれるさざ波がたつている場所があった。あまりにもおだやかであったので波峯線らしきものは認められなかつたが、平穏な海面のとき、円偏波による海面反射情報は本研究のような目的には有効かと思われる。

円偏波によるAスコープは撮影していないが、PPIスコープから推して、写真8のような水平波のものよりも、もっと尖った雜音エコーが数多く見られるであろうし、もう少し波のある海面では波峯線もよく見られるかもしれない。

なお、その後の深江丸の観測も風がなく、円偏波による波峯線は観測できなかつた。

6.4.5 レーダ映像と波について

これまでの観測から次のことが言えるであろう。

1. レーダの映像は、風上側で海面反射が強く、風下側では弱い。したがつて海面雜音の強い方向が風上であり、風浪の方向と一致する。

2. おだやかな海面に風が吹き始めたとき、波がたつとすぐにレーダでも認められ、その反応は速やかである。

昭和48年2月18日、玄界灘における進徳丸の観測中、S W、風力2であった海面が、急に風向がN N Eとなり、風も強まつたが、風向の変化とさして間をおかず、それまでS W方向にてていた海面雜音エコーがN N Eに変わつた例がある。

3. 穏やかな海面においては円偏波（観測はしていないが、垂直偏波も同様であろう。）による海面反射雜音は水平偏波に比しはるかに強いものである。

4. うねりがそれほど顕著でない海面では、風力が強くなつても、風浪のみによる海面反射のエコーは飽和して、風力に必ずしも比例するものではない。