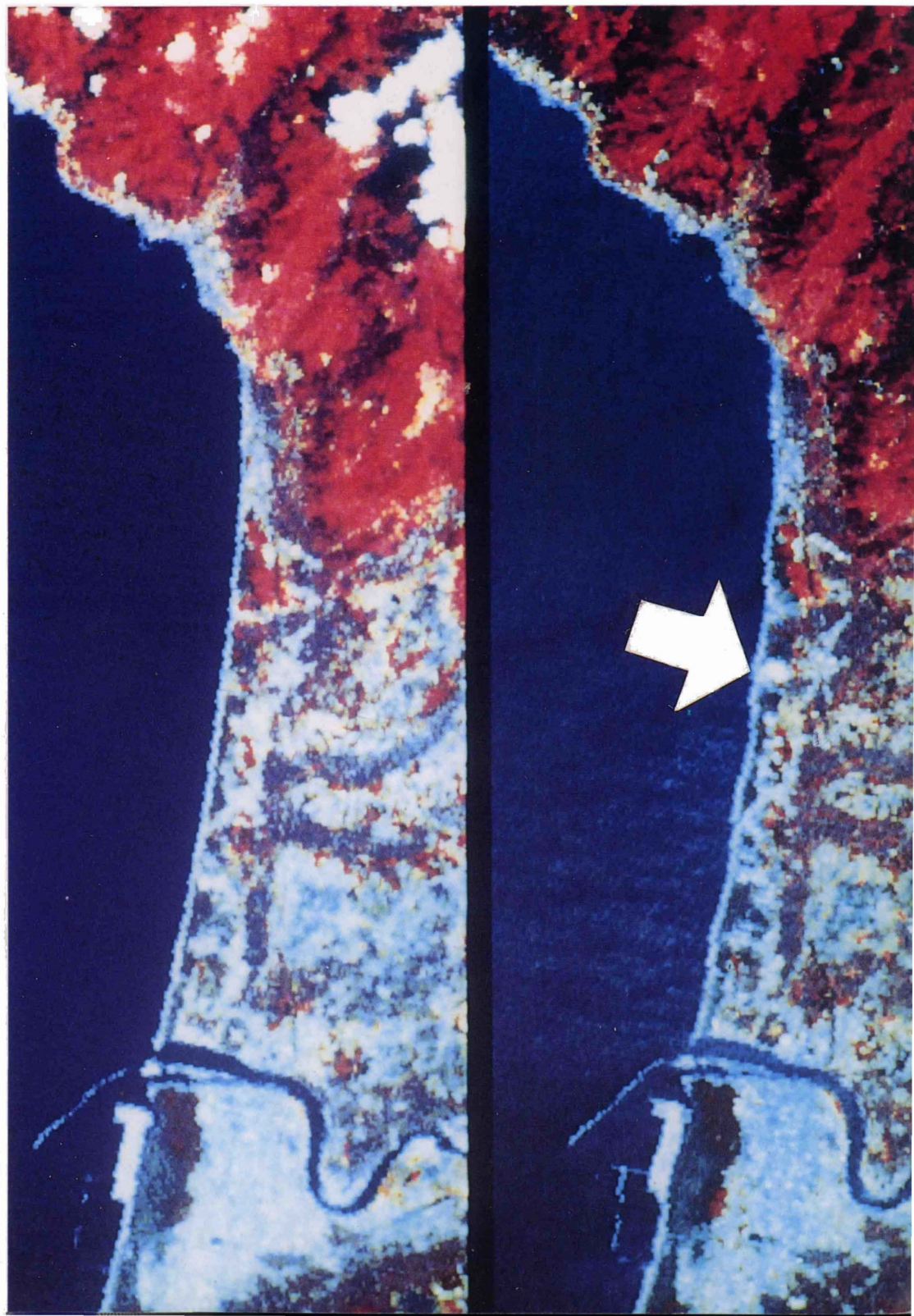


防災科学技術 **NO. 60** 1987 Oct.

科学技術庁 国立防災科学技術センター

海の防災研究特集



表紙写真説明

—衛星から見た日本海中部地震津波のツメ跡—

昭和58年5月26日の日本海中部地震は、秋田・青森の両県沿岸に未曾有の津波災害をもたらした。秋田県北部の峰浜村では14mの高さの砂丘を越えて、海岸から約1km奥の水田にまで津波が侵入した。津波の浸水域の痕跡は、ランドサット衛星のMSS画像からもはっきりととらえることができる。右の画像は津波の約1ヶ月半後の7月12日の秋田県北部のもの、左の画像はその前年の同期、すなわち57年7月8日の同じ地域のものである。右の画像上の海岸線の中央部に沿って内陸側に白く明るい斑点（矢印）が広がっているのが見られるが、左の画像の対応する位置にはそのような斑点はない。この位置は水田への津波の浸水が最もひどかった場所に合致する。MSSの5バンド帯は植物による吸収と裸地面による反射の大きい波長域であり、高い輝度は、植物が海水で枯れて土壌が露出していることを示す。両方の画像を重ね合わせ、各バンドごとに、各地点の両者の輝度値の差を求めると変化のあった地点だけ大きな輝度値の差が生じる。そのような地点は津波の浸水域とぴったり一致する。この方法によれば、広い範囲に分布する津波や高潮の被災地を客観的に判別することができる。これは当センターにおける津波とリモートセンシング技術についての最近の研究成果の一つである。

—本文参照—

序

所長 高橋 博

今年は当センターの海の防災研究を中心となって推進する平塚支所が開設されてから20年目に当たります。風と波の相互作用を外洋における観測により研究する必要が国際的に唱えられていたことから、昭和38年当センター発足の年に雪害実験研究所に続く研究施設として企画され、昭和39年地元の協力もえられて平塚に地を定め、当時の施工技術の限界である水深20mの現位置に観測塔設置を決め、海底下でPS波測定等を含む地盤調査を実施し、昭和40年に観測塔と陸側の研究施設を建設し、昭和41年分室として発足し、昭和42年に支所となりました。このような外洋性の海の研究用観測塔はわが国になく、他国にも例をほとんどききません。塔では最新の方式の測器による観測を試み、そのデータ伝送には多軸送電送信ケーブルによるマルチプレックス伝送を試み、データ収集、一次処理およびその記録整理をオンライン計算機で行うなど当時としては最先端の技術を導入しました。

観測塔による20年の観測データは、当センターの海にかゝわる研究の重要な基礎データであるだけでなく、他に類似の観測データのないことから内外の研究はもとより、海における大規模プロジェクトの実施に際しては、常にそのリファレンスとなる貴重な役割を果たしております。

当センターは海にかゝわる防災研究の重要性を発足当初から認識しており、各種の研究を平塚支所中心に所内各部を含めて昭和39年度より展開してきました。すなわち、観測塔を軸に相模湾における波と風にかゝわる諸研究、長周期波等の伝播特性、高潮、沿岸附近の波や砂の移動等の諸研究から、海の汚染、海岸侵食、海と大気間のエネルギーやCO₂などの相互移動等は他の地域においても共同研究等で行ってきました。

1974年伊豆半島沖地震を契機に伊豆半島における地震活動が活発となり、東海地震の恐れが明らかとなり、大規模地震特別措置法が制定されるに伴い、相模・東海地域とともに各種古史料の調

査から過去の地震および津波の実態を明らかにし、日本海中部地震に際してはわが国から韓国におよぶ日本海南半分の津波の実態を詳細に調査し、その伝播特性を解明するなど、津波の研究を強化しました。また平塚支所の協力を得て開発した海底地震計による東海および相模湾における微小地震観測から、トラフ附近や伊豆大島噴火前後の地震活動の実態が明らかにされました。さらに予想震源域直上での観測により地震の直前現象の観測をねらった海底地震計とその設置方法の開発は観測塔の海底下で実施されており、その本格的観測のための重要な知見をすでに得ています。地震および火山噴火予知に関する当センターの研究としてはこのほか、硫黄島や伊豆大島の地殻変動を知るための潮位観測、南硫黄島近海の海底火山活動についてのランドサットデータによる解析、「しんかい2000」による放射能観測法の開発による海底活断層の研究、海洋センターの海底の重力計、磁力計、強震計等の開発への協力等がある。伊豆大島噴火後も伊豆半島東方沖から山梨県東部にかけての地震活動は活発であることから、この附近の海陸の地殻活動観測は強化される必要があり、平塚支所の役割も一層高まるであろう。

波浪は強風で発達することから、強風に関する研究も観測塔を中心に進められてきた。その観測データと研究実績から地吹雪やオホーツク海の海水の研究など所内外の研究にも協力するとともに、強風に配慮を要する大型プロジェクトに対する協力業務も少なくない。最近は人工衛星による観測の進展にともない、広域的に強風域は風浪の分布を観測する方法の開発が求められており、電磁波による観測・解析方法の研究を分担し、成果をあげています。当センターとしても宇宙利用の海にかゝわる測定法の開発・観測の実用化、その適用による研究は一層積極的に進めるつもりです。海の観測は物理的・化学的・生物的にも環境条件が悪く、その長期連続自動観測装置の開発は重要で、特にメンテナンスフリーに対する要求は強い。この分野の研究も観測塔とその観測資料を活用しつつ努力していくつもりであるが、波高・波向・波長のブイ式の新しい観測装置や洋上での長波の実用的観測装置の開発などを行い、一部は海上保安庁等で実用に供されている。

地域的には、地元はもとより相模湾沿岸諸機関

への日常的協力のほか内陸側へも風等に関するデータの協力を行うなど多様な活動を平塚支所は行っている。

わが国の日本海側の国土の半分に当る地域が豪雪地帯であるが、これもシベリアとの間に日本海があるからであり、梅雨期に集中豪雨をもたらす混舌も南方の海での水蒸気の供給によるものであり、エルニーニョ現象のわが国の気象に対する影響も昨今、知られるようになったようにわが国の気象は海なくして考えられない。また海洋プレートの運動によりわが国の活発な地震や火山活動の起ることから、海の研究を活発にし、深めることはわが国にとっては他の国々以上に大切なことです。当センターとしては、平塚支所を基軸にして海にかゝる防災の研究を、関係機関との協力を深めつつ強化して行くつもりです。今後とも関係機関と地元の方々の御支援・御協力をお願いいたします。

目 次

1. 概 要

1.1 はじめに	1
1.2 平塚支所の開設まで	2
1.3 沿岸防災研究	2
1.4 地震、火山防災（予知を含む）研究 関連の海洋の研究	4
1.5 共同研究等	4
1.6 国際協力	5
1.7 対外的活動	6
1.8 施設・設備	6

2. 波浪防災研究

2.1 はじめに	14
2.2 波浪の観測	14
2.3 データ解析法の開発	16
2.4 波浪災害の調査	20
2.4.1 近海の波浪災害	20
2.4.2 沿岸波浪災害	21
2.5 将来の研究課題	23

3. 波浪等観測塔における波浪観測について

3.1 波高計の種類	25
3.2 定時観測による波浪観測	25
3.3 波浪と風の長期特性	26

4. 海上の強風防災に関する研究

4.1 多様な災害をもたらす強風	29
4.2 海上風の特徴	30

5. 海洋リモートセンシング技術の開発研究

5.1 沿岸防災研究とリモートセンシング	32
5.2 海洋リモートセンシング技術の動向	32
5.3 平塚支所における海洋リモートセン シング技術の研究	32
5.4 主な研究と成果	33

5.4.1 マイクロ波散乱計技術の確立	33
5.4.2 2周波マイクロ波散乱計の開発	34
5.4.3 合成開口レーダによる波浪情報の 計測	34
5.4.4 衛星画像による津波・高潮浸水域 の判定	35

6. 津波・高潮防災に関する研究

6.1 津波・高潮に関する初期の研究課題と その成果	36
6.2 津波・高潮災害に関する調査研究の 現状	37
6.2.1 古地震、古津波の研究	37
6.2.2 津波・高潮の発生伝播、沿岸遡上 に関する研究	38
6.2.3 リモートセンシング技術等を利用 した沿岸災害の観測手法の研究	39
6.2.4 日本海中部地震津波等実際の津波 に対する応用例	39
6.3 二つの側面からみた将来の津波研究	41
6.3.1 防災科学技術としての津波研究	42
6.3.2 歴史津波の研究	42
6.3.3 数値シミュレーション	42
6.3.4 海震の研究	43
6.3.5 海中地滑りなど非断層性地殻変動 による津波の発生効率の研究	44
6.3.6 境界領域の学問としての津波学	44

7. 地震・火山防災（予知を含む）研究関連の 海洋研究

7.1 海底地震観測	45
7.1.1 はじめに	45
7.1.2 開発した自己浮上式海底地震計	45
7.1.3 観測作業	46
7.1.4 データの再生・処理	46
7.1.5 観 測	47
7.1.6 国際協同観測	48
7.1.7 海底地震観測の将来	48

7.2	海底傾斜計観測	49
7.3	「しんかい2000」による研究	50
7.3.1	はじめに	50
7.3.2	研究の現状	51
7.3.3	将来計画	52
7.4	硫黄島における海の観測	52
7.4.1	概 要	52

7.4.2	研究の現状	52
7.4.3	将来計画	54

参考資料

1.	研究論文等	55
2.	資料等	61

1. 概 要

1.1 はじめに

当センターにおいては、昭和38年の設立当初より、津波・高潮などの沿岸災害の防止のための科学技術の進展に寄与するという大きな使命のもとに、当時、国内では、未着手であった沿岸域の海象の観測研究について、大胆な試みを実行してきた。すなわち、波浪等観測塔という本格的な海洋観測施設の実現である。昭和42年には、この施設を利用する研究の本拠として平塚支所が開設され、以来20年沿岸防災科学技術についての基礎的・共通的問題として海象・気象の研究が展開されてきた。

一方、昭和50年代に入ると防災科学技術に新しい局面が生れた。それは第4次地震予知計画の下で当センターが、地震予知研究の体制を整えたことである。この中で海底地震観測等、海域での地震活動や地殻変動に関する本格的な研究が動き出

した。

これらの研究は単に海域を対象とする共通点があるだけでなく、例えば津波と海底地殻変動の関係のように本来、一体化して総合的に研究すべき問題を多く含んでいるものである。

そこで、平塚支所開設20周年を期に、当センターにおける海洋を対象とした防災研究を総括してレビューしてみようというのが本号の企画である。

まず、主題の概要を把握していただくために、研究活動の経過を図1.1に示すようなフローチャートで表わしてみる。

図の中央にある6つの大きな帯状のブロックは主要な研究テーマを表わしており、左から右へ、時間の経過とともに、開始、発展、終了、転換等の変遷を辿った様子を示している。枝の部分はテーマ間の交流や共通部分があることを意味する。左端に縦に並んだブロックは、研究の場、手法等を示したものである。

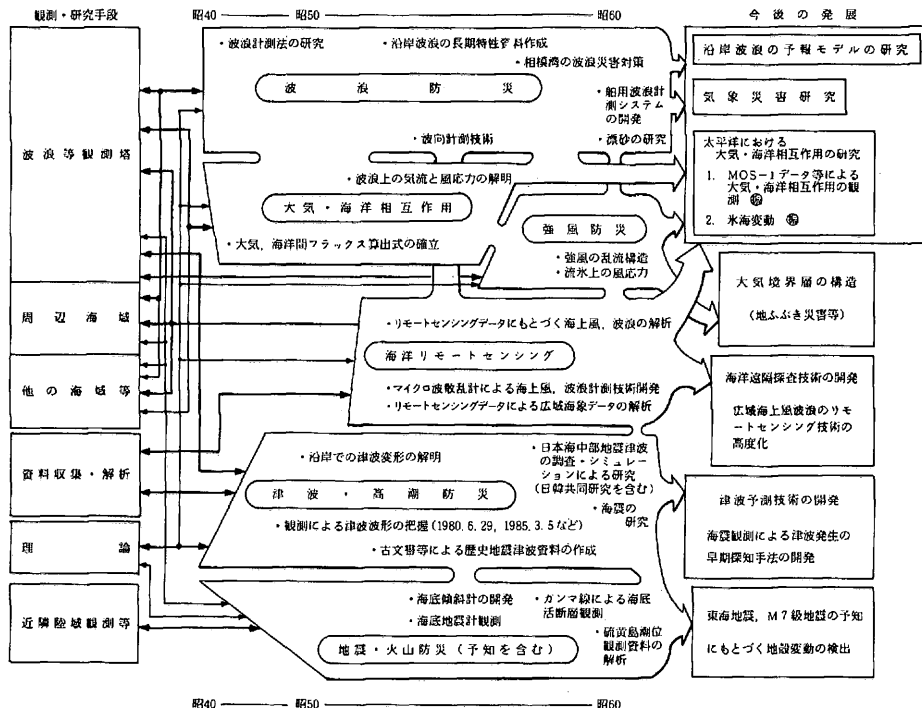


図1.1 国立防災科学技術センターにおける海洋に関する研究の概要

1.2 平塚支所の開設まで

国立防災科学技術センターの設立の契機の一つとなったのが、昭和30年代半ばに相次いで発生した伊勢湾台風による高潮とチリ地震津波の大規模な沿岸災害であったといわれる。ときあたかも、戦後の荒廃の中から立直った日本の経済が、ようやく世界的なレベルへ向って発展をはじめた時期であり、臨海工業地帯の造成、大規模港湾の建設等が全国的に行われていた。当然のことながら、沿岸災害の防止についての社会的要請は大きくなり、沿岸防災科学技術の総合的な推進を図るべく、具体的な施策が検討されるようになった。

当時は、まだ海洋現象の観測技術が未発達で、沿岸災害の要因となる海洋の異常現象の実態を、とにかく観測によって量的にとらえることが急務とされていた。すなわち、波浪、高潮、津波等を観測データによって記録、評価することが必要であった。このことは海洋科学技術審議会の諮問第1号に対する答申においても強調されているところであった。

当センターにおいては、設立直後より、このような背景のもとに、関係試験研究機関の共用に供することのできる大型の研究施設として波浪等観測塔の設置が検討され、昭和39年度から神奈川県平塚市沖で建設工事が始まり、翌40年12月に完成した。この施設は、風速60m/s、波高12mに耐えるように設計されており、海洋構造物として当時の先端技術の粋を生かして作られている。外洋性の沿岸海域におけるこのような本格的観測施設は、20年以上経過した今日においても、国内はもとより、世界中を探してもきわめて類稀な、優れた機能をもつものである。

この施設の拡充に合わせて、昭和39年度から沿岸防災研究室が発足して、沿岸防災に関する科学技術の研究活動を始めたが、波浪等観測塔の完成に伴い、それを利用して研究業務を現場において実施できるように、昭和41年度より、観測塔の陸上施設を置いた神奈川県平塚市虹ヶ浜に当センター平塚分室として移転した。そして昭和42年6月に、沿岸防災科学技術のより一層の推進と波浪等観測塔のより有効な利用を図るため、上記の場所に平塚支所を開設した。

1.3 沿岸防災研究

伊勢湾台風の高潮や、チリ地震津波による大きな沿岸災害の発生は、港湾施設の拡充により海外との貿易の振興を図り、海岸の大規模な埋立てによって、広大な基幹産業の工場用地を確保して、世界の趨勢に追いつこうとしていた日本の社会や経済に大きなショックを与えた。

沿岸防災科学技術の重要性は、このような背景で、強く認識されるようになった。

とくに、当時、他省庁の研究機関での取組み方が弱かった問題、すなわち沿岸災害の要因となる津波、高潮、高波といった異常現象の実態の把握や発生のメカニズムの研究の必要性が求められており、平塚支所ではこれらの問題を、波浪防災研究、津波高潮防災研究、共通的、基礎的課題としての大気・海洋相互作用の研究として、研究テーマにとり上げてきた。

波浪防災研究では各種の波浪計測技術の開発、沿岸波浪の長期特性に関する資料の作成、相模湾の異常波浪の発生予測、砂の移動による沿岸海底地形の変化などの研究成果を上げており波浪災害の防止のために各方面で活用されている。今後は従来、手薄であった沿岸海域の波浪の発達過程の研究に重点を置き、波浪予報技術の向上に資することを考えている。津波・高潮防災研究では、各地に埋もれている史料の発掘による歴史地震津波資料の作成という大きな仕事を行ったのをはじめ、日本海中部地震津波については理論的考察も加えて徹底的な調査を行った。これより前、相模湾における長周期波の研究として沿岸の津波変形の解明について成果を得ている。大気・海洋相互作用の研究では、海面への風の応力の評価、風波の発生メカニズム等の基礎的研究で成果を上げているが、この分野の最終目標と考えられている大気、海洋間のフラックス算出のための公式の導出では、KONDOの式が得られ、世界的に広く使われている。大気・海洋相互作用の研究は、このあと、一つは海上強風の防災研究へと発展し、海上、海岸の構造物の防災に必要な、強い風の乱流構造に関して成果を得ているほか、もう一つは、全地球的な気候変動に起因する災害の防止のために広域の大気・海洋相互作用の研究の必要性が強調され、衛星によるリモートセンシングデータを利用する

方向への発展が進められている。

そのリモートセンシング技術については、昭和50年代の初期から、沿岸防災研究に不可欠の観測手法という認識のもとに海洋への応用のための開発研究に着手した。平塚支所では昭和52年度より科学技術庁の海洋開発調査研究促進費による海洋リモートセンシング技術の開発研究として、とくに能動型マイクロ波センサーによる、海上風、波浪の計測技術の開発をハード、ソフトの両面から行ってきた。

これら沿岸防災研究の仕事の大部分は波浪等観測塔を使って行われている。波浪等観測塔では海象、気象についてのルーチンの観測も主要な業務として昭和52年度より継続的に行われている。これは気象官署のルーチン観測とは異なり、現象の長期特性を知り災害要因となる異常状態を判定す

るために必要な基礎データとして研究用に収集しているものである。これらの資料は、整理したうえ、一部、統計的な処理を行って印刷刊行している。その中でも波浪に関する資料は、他に例のない、詳細で長期に亘るものとして外部の関係者の間でも多く利用されており評価も高い。これについては後でくわしくのべる。なお波浪等観測塔を使った観測の詳細については、既刊の技術資料集（後出）の中にのべられている。

なお、表 1.1 に当センターの設立から今日までの沿岸防災研究に関する研究課題を掲げた。「特研」は防災センター特別研究、「特調」は科学技術庁特別研究促進調整費、「海洋」は科学技術庁海洋開発調査研究促進費、(振)は科学技術庁振興調整費による研究、その他は経常研究によるものである。

表 1.1 沿岸防災研究に関する研究課題一覧

年 度	研 究 区 分
39 ～ 40	砂浜海岸の生成過程に関する研究
39 ～ 41	相模湾における海象等に関する研究（特調）
40 ～ 41	波浪等観測塔の整備
41	大気、海洋、海岸間の相互作用に関する研究
42 ～ 45	沿岸防災に関する海象、気象相互作用の研究
43 ～ 45	海面近くの大気と水中における運動量、エネルギー、物質輸送の研究
43 ～ 45	富山湾の海岸侵食に関する総合研究（特調）
46	波浪、高潮、津波および海洋内部波の研究
46	海面境界層の乱流構造の研究
47	風浪の発達と伝播・変形に関する研究
48 ～ 50	積雲対流がもたらす災害発生機構に関する研究（特研 AMTEX）
48	波浪などの重力波と海洋乱流に関する研究
49	東京湾・相模湾を中心とした津波・長波の研究
49 ～ 53	波力・内部波および海洋乱流に関する研究
49	曳航式海洋観測システムの開発
49	伊豆半島沖地震の研究—津波の伝播に
50 ～ 52	相模湾周辺における長周期波の研究（特調）
51 ～ 53	沿岸災害を及ぼす大気、海洋、海岸間の相互作用の研究
51 ～ 53	津波・高潮の発生、伝播に関する研究
52 ～ 53	歴史津波に関する研究（東海地震の予知に関する総合研究——特調）
52 ～ 56	波浪、長周期波に関する研究（海洋）
54 ～ 59	津波の発生・伝播および沿岸遡上の研究
54 ～ 56	沿岸海況変動の予測手法に関する研究
54 ～ 56	リモートセンシング技術を応用した沿岸災害の予測手法に関する研究
57 ～ 59	沿岸災害情報としての2次元波浪スペクトルの研究
57 ～ 59	沿岸域の風害等に関する研究
57 ～ (62)	波浪等観測塔における沿岸災害要因の長期変動に関する観測研究
57 ～ 62	マイクロ波散乱計による波浪および海上強風の計測技術に関する開発研究（海洋）
58	津波の伝播に関する研究（日本海中部地震に関する緊急研究——特調）
60 ～ 62	津波の伝播および沿岸遡上の研究
60 ～ 61	古地震、古津波の史料地質学的研究
60 ～ 62	沿岸異常波浪の予測手法の研究
60 ～ 62	沿岸災害の発生に関わる強風等の研究
60 ～ 61	沿岸異常波浪による海底地形変化に関する研究 (振) (重点基礎)
62 ～ 64	MOS-1衛星等のデータによる大気・海洋相互作用の解析研究 (振)
62 ～ 64	水海変動の研究 (振)

1.4 地震、火山防災（予知を含む）研究関連の海洋の研究

東海地震の発生を想定した大規模地震対策特別措置法が昭和53年に施行され、第4次地震予知計画（昭和54～58年度）によって研究体制・設備が整備される中で、当センターでは、海溝型巨大地震の発生域での地震活動や地殻変動の研究（海溝型巨大地震の予知研究－特別研究昭和55～63年度）に着手した。この研究の中心は、自己浮上型海底地震計の開発と観測、および海底傾斜計の観測技術の確立であった。海底地震計は改良を加えて振興調整費による国際共同研究「インド洋・太平洋プレート境界領域における島弧海溝系の地質構造に関する研究」でも使われた。また、深海調査船「しんかい2000」を使った海底活断層の研究も行われるようになった。このように地震予知研究の分野における海洋研究が当センターでも本格的に始められた。そして平塚支所は東海地震の防災対策強化地域内の研究の前線基地的役割をもちつつある。

一方、火山防災の研究では異常隆起が続く硫黄島での観測研究が1960年代から続けられているが、昭和54年度には観測施設も整備され、長年の課題であった検潮所も設けられ連続観測が可能になった。

1.5 共同研究等

共同研究は、共同施設（波浪等観測塔など）の利用のためと、研究交流による研究の効率的推進を図るための両面から積極的に行われている。最近では、海洋リモートセンシング技術の開発に関連したテーマの共同研究が多いが、これには、国内唯一の海上実験室としての波浪等観測塔の機能を必要とする理由もあるが、当センターにおける研究実績、観測塔などによる沿岸の海象・気象のデータベースの存在等も大きな理由になっていると考えられる。共同研究の一覧表を表1.2に掲げる。

これらの他に、共同研究の形はとらないものの、相互に協力し合う内容をもった施設の利用が、理

表1.2 共同研究（平塚支所関係）

年 度	共同・委託機関	研 究 テ ー マ	研 究 内 容
40-41	港 湾 技 術 研 気 象 研 究 所	相模湾における海象等に関する研究（特 調費）	波浪エネルギースペクトルの計測に関する研究。
46	船 舶 技 研	船舶搭載型波浪計の研究	波浪計の試作テストと実験を行った。
48	船 舶 技 研	船舶搭載型波浪計の研究	昭和46年度に引き続き波浪計の試作テストと実験を行う。
57-59	気 象 研 究 所	マイクロ波放射計による海象の計測に関する研究	マイクロ波放射計による海象のリモートセンシングに関する技術開発の研究。
58-60	宇宙開発事業団	合成開口レーダ（SAR-580）のデータ解析および評価に関する研究	合成開口レーダによる海面波浪の観測とその海面照合実験。
59-60	公 害 研	2周波マイクロ波散乱計による波浪測定および海上風の航空機計測に関する研究	航空機観測を行うとともに観測塔でシートルスデータの観測を行い、波浪および海上風の航空機計測技術開発の研究を行った。
59	気 象 研 究 所	海洋遠隔探査技術の開発研究	MOS-1搭載センサーの航空機による実験の検証を行った。
59-60	宇宙開発事業団	海上風等によるマイクロ波放射計のラジオメトリック性能評価に関する研究	“
62-64	宇宙開発事業団	MOS-1を利用した沿岸海域の波浪および海上風の推定	MOS-1衛星を利用して沿岸海域の波浪および海上風のアルゴリズムを作成する。

化学研究所, 東大海洋研究所, 海洋科学技術センター等によって行われている。

1.6 国際協力

1.6.1 国際機関への協力

(1) 国連地域開発センター

1986年秋, 同センター主催で国内で開催された「地域防災国際会議」において「リモートセンシング技術の防災への応用」について報告

(平塚支所-竹田)

(2) ICSU/SCOR 第70作業委員会

1982年以来, 国際学術連合会議 (ICSU) の海洋研究科学委員会 (SCOR) 第70作業委員会 (衛星による海洋観測) の委員として報告書「海洋の衛星計測の可能性と問題点」(1986年ユネスコ刊) の作成を分担

(平塚支所-竹田)

1.6.2 二国間協力

(1) 天然資源の開発利用に関する日米会議 (UJNR)

A 耐風・耐震構造専門部会

日米合同部会における論文発表

i 第11回 (昭和54年5月, 日本)

高橋博・藤縄幸雄; 日本における津波研究の現状と方向

ii 第13回 (昭和56年5月, 米国)

都司嘉宣・高橋博; 1979年20号台風によって引き起された高潮・高波について

iii 第15回 (昭和58年5月, 日本)

内藤玄一・渡部勲・徳田正幸・高橋博; 海洋上の観測塔で測定された強風の性質

iv 都司嘉宣・竹田厚・小西達男・高橋博;

1982年10号および18号台風に伴う潮位偏差について

v 第16回 (昭和59年5月, 米国)

都司嘉宣・高橋博; 日本および韓国の沿岸での日本海中部地震の津波高分布

vi 第17回 (昭和60年5月, 日本)

都司嘉宣・高橋博; 日本海で発生した地震津波と数値計算結果

vii 第18回 (昭和61年5月, 米国)

竹田厚・都司嘉宣・高橋博; 津波, 高潮による浸水域の衛星資料からの識別方法

viii 第19回 (昭和62年5月, 日本)

岩崎伸一・高橋博; 海底地すべりによる津波の見積り

B 地震予知技術に関する協力

米国地質調査所, スクリップス海洋研究所, ハワイ大地球物理研究所において海溝型巨大地震の予知研究のための海底観測技術についての調査, 情報交換を行う

昭和59年度-第2研究部 江口孝雄

(2) 日本-西ドイツ科学技術協力

先進国首脳会議の取決めに基づく活動として, 西ドイツが主催する「開発のためのリモートセンシング」に関する国際会議が1961年9月ベルリンで開催された。日本からの代表は一人で, 海洋分野への応用についての基調報告を行った。

(平塚支所-竹田)

(3) 日韓科学技術協力

i 沿岸海況予測に関する研究: 韓国中央観象台気象研究所気象技佐 俞漢奎氏 昭和56年7月

ii 昭和58年日本海中部地震津波の情報交換: 平塚支所郡司嘉宣 昭和59年3月, ソウル大学地球科学科, 交通部水路局, 中央気象台観測局, 科学技術院海洋研究所, 他を訪問

1.6.3 JICAとの協力による防災技術セミナー

昭和52年度 (第1回) 以降, 海洋に関係あるテーマとして次のようなものが実施されてきた。

i 波浪, 碎波, 高潮; 岩田憲幸 (昭和52~58年度)

ii 波浪, 漂砂; 徳田正幸 (昭和61年度~)

iii 津波の発生と伝播; 都司嘉宣 (昭和52年度~)

iv 海洋リモートセンシング; 竹田厚 (昭和56年度~)

1.6.4 国際共同研究

(1) 地球大気開発計画 (GARP) の一環としての気団変質実験 (AMTEX) への参加

東シナ海における大陸からの大気の変質過程を調べるために南西諸島海域に観測網を展開して昭和49~50年度に実施された。気象庁, 国立研究機関, 各大学, アメリカ, カナダ等の研究グループが参加した。当センターの観測班 (平塚支所: 内

藤玄一、渡部勲、都司嘉宣）は海上保安庁の巡視船「のじま」上で、大気境界層、放射、海水温等の観測を行った。

- (2) インド洋、太平洋プレート境界領域における
島弧・海溝系の海底地質構造に関する研究
(振興調整費による)

インド洋、太平洋両プレートの境界域の海底地質、地球物理学的研究を進めるために海洋科学技術センターの「なつしま」を使い、トンガ、パプアニューギニア、インドネシアの各国の協力を得て、海底地震計による観測を昭和58～60年度に実施した。担当者は第2研究部の藤縄幸雄、江口孝雄、鶴川元雄、大竹政和、浜田和郎。

1.6.5 外国人の来訪・職員の海外出張（昭和57年以後）

研究内容の討議、施設見学等で訪れた外国人は米国4、中国5、韓国7、カナダ1（平塚支所に限る）であった。

またこの5ヶ年間に当センター職員が海洋関連研究に関する海外出張（研交交流法による許可を受けての自費旅行を含む）は17件あり、その中には、科学技術庁長期在外研究員、中期在外研究員各1件が含まれる。

1.7 対外的活動

防災科学技術にあつては研究成果を、実際面に役立てることが肝要である。平塚支所を中心とした海洋防災研究の活動の中でも、委員等の派遣、講師の派遣、技術指導、技術協力、資料提供、その他の啓蒙活動を行ってきた。これら社会的な貢献を一覧表にして表1.3に示す。

1.7.1 啓蒙活動

毎年4月中旬の科学技術週間の一、支所を一般公開して、災害の実態や、災害要因である津波・波浪等の特性等、防災知識普及のためのパネル展示や、先端技術を使った計測技術のデモンストレーションを行っている。新聞等を通じて広報をお願いして入場者も年々少しずつ増加している。

当センターの防災科学技術講演会を昭和54年10月12日地元平塚市で開催した。昭和62年10月にも平塚市で同講演会を開催する。

地域の自治体や各種団体から主として津波防災について、一般市民対象の講演を依頼されることは多い。平塚支所が東海地震強化地域にあることから、地域社会からのこの種の要望は年々増加している。

1.7.2 技術協力・技術指導・資料提供

平塚海岸を含む湘南海岸は、全国的に知られたレジャーのメッカで人間の活動がきわめて活発であり、問題点も多い。

現在、沿岸の波浪予報精度を向上すべく、横浜地方気象台の依頼により波浪観測データを使った技術指導を行っている。

また、相模川河口を含めた相模湾の漂砂の問題を、神奈川県相模湾水産振興事業団の委託により調査研究しており成果を上げている。この問題については平塚市からの協力が求められ資料の提供を行っている。

当支所が作成した古津波資料は高い評価を受けており、各地の津波災害対策の策定作業等に広く役立っている。また津波の伝播についてのシミュレーション等についても防災技術の一つとして指導を行っている。

波浪等観測塔における波浪観測データは、外洋性の海岸の波浪特性を示すものとして普遍性をもっており、各地の海岸保全、港湾建設等の事業の基礎資料として利用の要望が多い。とくに「波向き」等、他にない情報を含んだ資料集は多方面に配布している。

1.7.3 委員、講師等の派遣

国、地方自治体等の事業のため、当センター職員の専門的知識が求められる場合も多くなっている。最近5ヶ年の委員、講師の派遣状況を表1.4、1.5に示す。

1.7.4 特許等

研究の職務上の発明に基く特許等の申請状況を表1.6に示す。

1.8 施設・設備

当センターにおける海洋防災研究に関する主な施設・設備は次のようなものである。

表 1.3 研究の社会的貢献

主 な 研 究 成 果		社 会 的 貢 献			☆印は地震予知研究関連
		国の行政に対して	地域に対して	国 際 的	
波 浪 防 災	- 沿岸波浪の長期特性に関する資料作成 - 相模湾の異常波浪の発生予測 - 船用波浪計測システムの開発 - 波浪計測法の開発	- 沿岸波浪予報技術向上のための技術指導および観測資料提供（横浜地方気象台） - 船用波浪計測システムの実用化への技術指導（海上保安庁水路部）－特許共同出願中－ - 丸太式波浪計測ブイ特許出願中（新技術事業団に実用化依頼）	- 海岸浸食の定置漁場への影響調査（県水産事業団） - 相模川河口の漂砂対策への技術協力（神奈川県） - 各地域の海洋浸食対策のための波浪解析資料の提供 - 波浪災害事故に関する観測資料の提供（神奈川県警等）	JICA防災技術セミナー担当	
大 気 海 洋 相 互 作 用	- GARP-AMTEXにおける大気・海洋相互作用の観測 - 大気・海洋間のフラックス算出のための公式－KONDOの式－の確立	- GARP-AMTEX 観測分担 - ダム貯水池からの蒸発損失量の推定（建設省）	海面温度情報の提供（県水産試験場）	- GARP-AMTEX 観測参加 - フラックス算出公式 KONDO の式の国際的評価	
強 風 防 災	海上強風の乱流構造	- 流水への風の応力（海洋科学技術センター） - 地吹雪観測 - 長大架橋設計基礎資料提供（本四公団）	（沿岸防災総合） 海洋災害講演会（名古屋市）	UJNR 耐風耐震部会（強風）発表	
海 洋 リモート・ センシング	- マイクロ波散乱計による海上風・波浪の計測技術の開発 - 海域リモートセンシングデータの処理解析技術	- 次期海洋観測衛星開発のため仕様作成（NASDA） - 客員開発部員（同上に関して）NASDA - 合成開口レーダ開発のための海上検証実験成果（NASDA） - MOS-1 衛星の検証実験成果（NASDA）		- ICSU/SCOR のリモセンWG委員として報告書作成 - サミットリモセン会議で専門家として技術指導 - JICA 防災科技セミナー担当 - 国連地域防災国際会議報告	
津 波 ・ 高 潮 防 災	- 歴史地震津波資料の作成 - 日本海中部地震津波の調査 - 沿岸の津波変形の解明	☆ 地震予知研究の中の古地震、古津波の研究担当 - 津波防災対策のための数値シミュレーション	- 平塚市防災会議委員 - 同地震災害警戒本部委員 - 神奈川県津波防災対策々定－委員及び協力 - 静岡県津波防災対策策定－委員及び協力 - 各自治体津波監視方法についての指導 - 潮位の推算値の提供（平塚漁協）	- JICA 防災技術セミナー担当 - UJNR 耐風耐震部会（津波高潮）発表 - 日韓科学技術協力による日本海中部地震津波の共同研究	
地 震 火 山 防 災 (予知を含む)	- 硫黄島潮位計観測資料の解析 - 海底傾斜計の開発 - 海底地震計による観測 - ガンマ線測定による海底活断層観測（支援）	☆ 地震予知研究 - 火山噴火予知	- 神奈川県への調査協力 - 静岡県 “ - 平塚市、小田原市、茅ヶ崎市、湯河原町での啓蒙活動 - 平塚市における講演会		

表 1.4 委員等の派遣（昭和57年度～昭和61年度） 平塚支所関係

No. 1

氏 名	委 員 等 の 名 称	委嘱期間	依頼機関（事務局）
（昭和57年度）			
岩 田 憲 幸	昭和57年度海象予測プログラム研究開発委員		日本気象協会
竹 田 厚	次期海洋観測衛星システムのミッション解析調査 委員会委員		財リモートセンシング技 術センター
	氷海航行支援技術に関する調査検討ワーキンググ ループ委員		郵政省電波研究所
	海洋遠距離探査技術研究委員会委員		科学技術庁
	カナダとの協力による北極圏海域における海上輸 送技術の開発に関するフィージビリティスタディ 調査推進委員会委員		“
内 藤 玄	次期海洋観測衛星システムのミッション解析調査 委員会委員		財リモートセンシング技 術センター
徳 田 正 幸	波浪観測用漂流ブイロボット研究開発委員		日本気象協会
（昭和58年度）			
岩 田 憲 幸	海洋波浪等調査研究委員会委員	57. 7. 17 ～ 59. 7. 16	財日本造船振興財団
	流況および漂流予測研究委員会委員	58. 4. 5 ～ 59. 3. 31	財日本水路協会
	波浪観測用漂流ブイロボット研究開発委員	58. 5. 1 ～ 59. 3. 15	財日本気象協会
	昭和58年度「定置漁場におよぼす海岸道路の影響 調査」委員	58. 6 ～ 59. 3	財相模湾水産振興事業団
竹 田 厚	海洋遠隔探査技術研究委員会委員	57～	科学技術庁研究調整局
	自動海洋環境調査システム技術検討委員会委員	58 ～ 60. 3. 31	金属鉱業事業団
	海洋観測衛星 1 号の航空機検証実験計画の策定支 援委員会委員	58. 6. 10 ～ 59. 3. 31	財リモートセンシング技 術センター
	客員開発部員（地球観測システム諸元の検討）	58. 6 ～ 59. 3. 31	宇宙開発事業団
	日本海洋学会海洋観測衛星委員会委員	58. 6. 14 ～ 60. 3. 31	日本海洋学会
	SAR-580 実験委員会委員	58. 10. 1 ～ 59. 3. 31	財リモートセンシング技 術センター
	次期海洋観測衛星のデータ解析評価システムの調 査検討委員会委員	59. 1. 10 ～ 59. 3. 31	財リモートセンシング技 術センター
	国際学術連合会議（ICSU）海洋研究学術委員 会（SCOR）第70作業委員会委員	57. 4～	ICSU/SCOR
徳 田 正 幸	「波浪観測用漂流ブイロボット研究開発」推進委 員	58. 5. 1 ～ 59. 3. 15	財日本気象協会
	昭和58年度「定置漁場におよぼす海岸道路の影響調 査」委員	58. 6 ～ 59. 3	財相模湾水産振興事業団
都 司 嘉 宣	「歴史地震に関する調査研究」研究会委員	56. 11. 1 ～ 59. 3. 31	財地震予知総合研究振興 会

氏 名	委 員 等 の 名 称	委嘱期間	依頼機関（事務局）
(昭和59年度) 竹 田 厚	神奈川県地震被害想定調査委員会津波水害分科 会委員	58.11.1 ～ 59.3.31	神奈川県
	日本海中部地震の前兆現象および歴史地震津波に 関する研究会委員	58.11.25 ～ 59.3.31	財地震予知総合研究振興 会
	日本海中部地震震害調査委員会（第3編 津波専 門委員会）委員	58.12.5 ～ 60.6末	社土木学会
	日本学術会議地球物理研究連絡委員会付置雪永小 委員会委員	56.4～	日本学術会議
	平塚市防災会議委員	59.7.1～	平塚市
	自動海洋環境調査システム技術検討委員	～ 60.3.31	金属鉱業事業団
	海洋観測衛星委員会	58.6.14 ～ 60.3.31	日本海洋学会
	客員開発部員（地球観測システム諸元の検討）	59.4.1 ～ 60.3.31	宇宙開発事業団
	SAR-580データ評価委員会委員	59.6.20 ～ 60.3.31	財リモートセンシング技 術センター
	昭和58年度「定置漁場におよぼす海岸道路の影響調 査」委員	58.6 ～ 60.3	財相模湾水産振興事業団
(昭和60年度) 都 司 嘉 宣	「波浪観測用漂流ブイロボット研究開発」推進委 員	58.6.1 ～ 60.3.15	財日本気象協会
	日本海中部地震震害調査委員会（第3編 津波専 門委員会）委員	58.12.5 ～ 60.6	社土木学会
	神奈川県地震被害想定調査委員会津波水害分科会 委員	59.5.1 ～ 60.3.31	神奈川県
	MOS-1衛星検証計画委員会委員	60.8.2 ～ 61.3.31	財リモートセンシング技 術センター
	海洋観測衛星委員会委員	60.9 ～ 61.3	日本海洋学会
	海洋遠隔探査技術研究委員会委員	60.4.1 ～ 63.3.31	科学技術庁研究調整局 （研究開発局）
	海洋遠隔探査技術研究会委員	60.4 ～ 61.3	海洋科学技術センター
	リモートセンシング部会副主査	61.12 ～ 63.3	社計測自動制御学会
	平塚市防災会議委員	61.4 ～ 63.3	平塚市
	海洋遠隔探査技術研究会委員	61.4 ～ 62.3	海洋科学技術センター
(昭和61年度) 竹 田 厚			
内 藤 玄 一			

表 1.5 講師等の派遣（昭和57年度～昭和61年度） 平塚支所関係

No. 1

氏 名	名 称 (演 題 等)	実施日・期間	実施(依頼)機関
(昭和57年度)			
岩 田 憲 幸	東京大学工学部非常勤講師	57. 4. 1 ～ 58. 3. 31	東京大学工学部
都 司 嘉 宣	地震と防災について	57. 9. 10	社神奈川県高圧ガス保安協会
(昭和58年度)			
岩 田 憲 幸	地震と防災について	58. 4. 1 ～ 59. 3. 31	社神奈川県高圧ガス保安協会
渡 部 勲	流れ、水温等の電算機によるデータ処理について	59. 3. 26 ～ 3. 27	神奈川県水産試験場
都 司 嘉 宣	高圧ガス事業所対象の保安セミナー「地震と防災」	58. 10. 13	神奈川県横須賀三浦地区行政センター
	高圧ガス製造事業所保安セミナー「地震と防災」	58. 11. 29	神奈川県川崎地区行政センター
	地震防災講演会「津波のおそろしさとその対策」	59. 3. 13	神奈川県湯河原町
竹 田 厚	大気と海洋における混合層の変動過程に関するシンポジウム(講師)	58. 12. 12 ～ 20	東京大学海洋研究所長
(昭和59年度)			
竹 田 厚	防災技術セミナー	59. 11. 19	社資源協会
	第4回調査委員会	60. 1. 23	財資源観測解析センター
都 司 嘉 宣	防災技術セミナー	59. 11. 26	社資源協会
	沿岸地域における津波対策について	59. 11. 22	神奈川県 南地区行政センター
	地域県民集会(地震津波について)	60. 2. 22	〃
	防災講演会(南関東の地震と津波について)	60. 3. 5	藤沢市
渡 部 勲	流れ、水温の連続記録の電算機による処理について	59. 10. 15 ～ 16	神奈川県水産試験場
(昭和60年度)			
竹 田 厚	第8回リモートセンシングシンポジウム「これからのセンサーについて」	61. 2. 6	科学技術庁研究調整局
	地震防災講演会「相模湾の津波」	61. 3. 27	神奈川県湯河原町
	津波監視体制強化のための市町村職員等研究会	61. 2. 21	神奈川県消防防災課
都 司 嘉 宣	消防職員専科教育災害対策課程「津波災害について」	60. 6. 12	神奈川県消防学校
	津波と地震についての講演会「日本海中部地震」	60. 6. 7	秋田県能代市
	防災講演会「小田原地震について」	60. 8. 30	神奈川県小田原市
(昭和61年度)			
竹 田 厚	地域防災国際会議「リモートセンシング技術の防災への応用」	61. 9. 25	国際連合地域開発センター
岩 崎 伸 一	地震と防災について	61. 12. 2	社神奈川県高圧ガス保安協会

表 1.6 特許等（平塚支所関係）

発 明 の 名 称	種 別	日 付	番 号	備 考
波浪計測装置	特 許	58 3 4 公開	昭58- 37508 （出願公開）	
丸太形の り下げ圧力式波浪計	〃	59 12 21出願	59 - 268273 （出願）	
船舶用波浪計における計測処理システム	〃	61 3 19出願	61 - 059406 （出願）	共同出願

(1) 波浪等観測塔

沿岸防災科学技術に関する研究のために、気象、海象の連続観測や各種実験を行うほか、地震、火山防災に関する観測、海洋リモートセンシング技術に関する共同研究などにも利用されている。

完成：昭和40年 8 月

主要諸元：

位 置 35°18'07.9"N, 139°20'56.5"E
相模湾奥中央、平塚海岸沖1kmの水
深20mの地点

構造およ 鋼管、鋼板を部材として、写真 1.1
び形状 および図 1.2 に示すような構造、形
状をしている。平均干潮水面から塔
の最上部、観測室の屋根までの高さは20m、観測室（階段室および変電室を含む）は直径7mの円形で床面積は約36㎡、塔は波高20m、風速60m/sに耐えられるように設計されている。センサー取付用に、沖側に気象用および海象用観測支柱、下部櫓の3本の支柱の頂部には波高計取付用のI型支柱がそれぞれ設けられている。

観測機器 プロペラ型風速計、2周波マイクロ
波散乱計、乾湿計、振動計、超音波
風速計、容量型波高計測システム、
検潮儀、表層水温計、各層水温計、
流向流速計、長周波波計

海 底 電力（6600V）供給用3芯、データ
ケーブル 伝達用35対からなる混合ケーブルが
観測塔と陸上の平塚支所庁舎内と間
に埋設（海底下は深さ1～2m）

なお、波浪等観測塔の詳細については、防災科学技術資料第110号、国立防災科学技術センター

“波浪等観測塔”20年の記録－技術資料等－（昭61. 3 国立防災科学技術センター）を参照されたい。

(2) 観測艇「さがみ」

波浪等観測塔への交通手段および沿岸海域の観測用として使用する。（写真 1.2）

完成：昭和60年 3 月

主要諸元

構造および形状 FRP製小型船舶

全長・全幅 10.0 m および 3.0 m

総トン数 5.8 トン

速 力 15 ノット

設 備 ロランC装置、測深儀、ラインホ
ウラ無線機



写真 1.1 波浪等観測塔

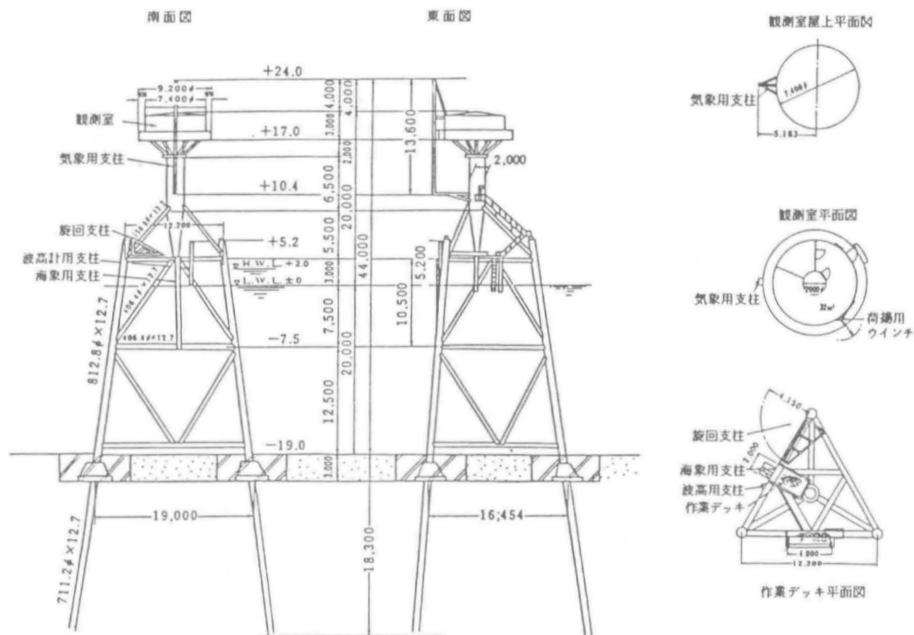


図 1.2 波浪等観測塔構造図



写真 1.2 観測艇「さがみ」

本船は昭和40年に建造され昭和60年3月まで使用された旧「さがみ」（本造4.9トン）の代船として建造されたものである。

(3) 観測用車輛

波浪等観測塔への人員・機材の運搬（陸上部分）および海浜地域での調査・観測作業用として使用する。（写真 1.3）

納入： 昭和62年2月

主要諸元：

型式・車名 貨客用4輪駆動車，いすゞビッグホン

乗車人員お 最大5名，450kg（2名乗車時）
よび積載量

(4) データ処理システム

波浪等観測塔から海底ケーブルを通じて，定時および随時に伝送されてくる観測データを集録・処理する。

設置 昭和62年12月（予定）

主要諸元

電子計算機 MELCOM70，MX-3000 II，
8Mバイト

構成および主要機能 図 1.3 に示す

なお本装置は技術的な進歩に合わせて5年毎に更新，最新の機種を採用してきた。主体になる電子計算機の変遷は次のとおりである。



写真 1.3 観測用車輛

昭和42～47年 S D S 92型 12ビット 8 K語
 昭和47～52年 NEAC-3200モデル50 16ビット 16 K語
 昭和52～57年 MELCOM-COSMO-500, 16ビット 64 K語
 昭和57～62年 MECCOM-COSMO-700 S 2 Mバイト

(5) レーダー塔

平塚支所の陸上の構内から、リモートセンシング等の方法によって海面を観測するための観測・実験施設

完 成 昭和53年 3月

主要諸元

高 さ 屋上の高さはT P上20m, 建物の高さは約12m

(6) その他

波浪等観測塔を中心にした半径50mの範囲は当センターの専用水域になっており、各種測器の設置が可能である。現在、海底傾斜計が設置されている。また海洋科学技術センターとの共同研究により、同センターの施設設備である、深海調査船「しんかい2000」やその支援船である「なつしま」が地震予知研究の分野における海洋観測でしばしば使われている。

また、硫黄島における火山噴火予知研究のための観測網設備の一つとして、同島飛石鼻に潮位計が設置され、観測が続けられている。(写真7.1参照)

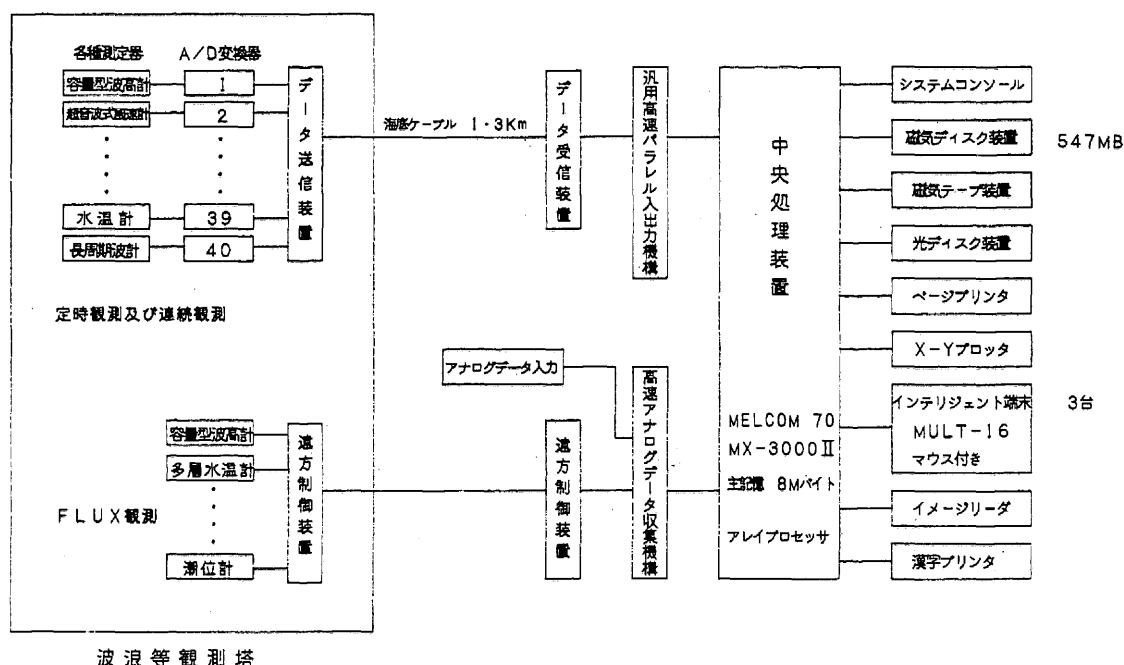


図1.3 平塚支所データ処理システム

2 波浪防災研究

2.1 はじめに

波浪現象は研究し尽されただろうか。波浪は複雑で物理法則にのらず、全く予測できないものと考えられていた。しかし1947年にスベルドラップとムンクによって有義波という表現法が導入され、これをもとに波浪の特性が初めて明らかにされ、物理法則を使って議論された。この方法はSMB法と呼ばれ、波浪予測式が考案された。一方1952年に有義波と全く異なるスペクトル法(PNJ法)が導入された。この方法は水面の高まりを多くの成分波の重ね合せと仮定するもので、波浪現象を線形的なものと思なすことを可能にした。この考えにもとづいて、1957年にマイルズとフィリップスの線形理論が発表され、波浪の発達メカニズムが解明されたかに見えた。1966年頃になると、波浪計測技術が向上し、これらの理論について検証が可能となった。その結果、これらの理論による成長率はとくにスペクトルピークより低周波領域において、観測値を十分に説明する値でないことが明らかにされた。その後、ハッセルマン等によって非線形相互作用のメカニズムが導入され、これによって一応の解決を見た。すなわち、波浪が発達すると、波高ばかりでなく波長も大きくなる。この理論は次の仮定を用いて、線形理論で考慮されなかった波長の増大の効果を直接に風からのエネルギー入力の結果とせず、非線形効果によるものとした。その結果線形理論で説明できなかった成長率について説明することができた。用いられた仮定は風からのエネルギー入力をスペクトルピーク付近の高周波成分のみとしたことである。この仮定が正しいかどうか、現在においても実証されていない。このような意味から、波浪の発達メカニズムはまだ完全に解決されていないと言える。しかし、この仮定が実証されなくても、この理論によって観測された波浪の発達状況(JONSWAP)を十分に説明でき、精度の高い波浪予測が可能となった。ところが、この理論は複雑で莫大な計算量を必要とするので、実際の数値予報の計算

では直接に非線形項を計算せず、成長率の値にその効果を組み入れ、最終的には線形的モデルで計算されている。

以上が今までの波浪研究を理論的な研究を中心に概略的にまとめたものである。このような研究は比較的単純な外洋波浪に有効であるが、複雑な沿岸波浪に対しては、数値計算の格子点間隔を非常に小さくするために、さらに莫大な計算となり、必ずしも精度の良い結果を与えない。今後は沿岸波浪予報のニーズが高まるので、その研究を重点的に行う必要がある。

沿岸防災研究において、沿岸波浪の問題は重要な問題の一つである。平塚沖の観測塔を拠点として測器および解析法の開発、長期的な観測を行い、データの蓄積に努めるとともに、沿岸波浪の予測的研究にも取り組んでいる。最近10年間の研究においては、測器および解析法の開発、長期観測システムの確立および波浪災害調査に研究成果があった。これらを中心に述べることにする。

2.2 波浪の観測

観測は波浪の実態を知り、予測を行うために必要である。われわれは短期の実験的な観測よりも長期のルーチンの観測に重点を置く。このために、高い精度より安定した精度を優越させることである。長期観測の条件はほとんどメンテナンスを必要とせず、かつ台風等による異常波浪に対して丈夫であることである。このようなことから、われわれの開発する測器の性能条件は厳しいものとなる。次に各種の計測器について概略的に議論する。

(1) 深い海での観測

深い海の観測は基準となる目標物の設置が困難となるために、浅い海に比べてむずかしい観測となる。観測は目視観測と測器観測に分けられる。

目視観測は図2.1(a)に示したように、船の甲板上からの目視による、風浪とうねりについて周期、波高、波向の観測になる。目標物として、船の大きさ、水面の泡や浮遊物を用いる。目視で得られ

た特性をもつ波は有義波によく対応すると言われている。

測器観測について述べる。これはセンサーを船に搭載する方法とブイに装備する方法に分けられる。前者は船舶波浪計（タッカー式船用波浪計、図 2.1(f)で、後者はブイ式波浪計（図 2.1(b), (c), (d), (e)）である。波高のセンサーとして加速度計と圧力計がある。加速度計は高精度でコンパクトなために広く用いられているが高価である。一方圧力計は精度は落ちるが、安価で丈夫である。このセンサーは吊り下げ圧力式ブイとタッカー式船用波浪計に用いられている。波向は傾斜計で計られる。これはピッチロール型ブイ（図 2.1(b)）とクローバー・リーフ型ブイに装備されている。

私たちのところではタッカー式船用波浪計と吊り下げ圧力式ブイについて研究を行った。前者は海上保安庁水路部と共同研究を行い、精度の高い計測処理システムの開発を行った。このシステムと目視および吊り下げ圧力式ブイの比較観測を行った。ブイとの比較観測から、このシステムの精度が非常に良いことが明らかになった。目視観測との比較からはシステムの特性よりも目視観測の特性が明らかになった。図 2.2(a)は風浪について、図 2.2(b)はうねりについての両者の結果の比較を示し、次のことが分った。風浪の目視波高に関してある程度正確に計測できる範囲は人間の身長と同程度のものであること、うねりに関しては風浪との分離がきわめてあいまいで誤差が大きいことである。

次に吊り下げ圧力式ブイについて議論する。このブイによる観測（写真 2.1）は外洋から湾内に入射する波浪の伝播状況を調べるために行うものである。図 2.3 は相模湾において観測されたうねりのエネルギーの減衰分布を示す。この結果から二つのことが分かる。一つは大島に比べて平塚沖ではエネルギーについて60%（波高 0.4）に減衰することである。もう一つは三浦・初島間を越えると減衰率が非常に大きくなることである。このような観測は波浪予報の向上に非常に重要であるにもかかわらず、ほとんど行われていないことである。使用したブイは波向計測はできない。このため、波向計測もできるようにブイの開発研究を行った。その結果、ブイの形状を丸太型にし、丸太が波の峰に平行に漂流する性質を利用して波向

を計測する方式を考案した。これの実用化は今後の課題となる。

（2）浅い海での観測

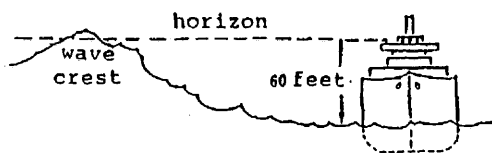
浅い海での観測ではセンサーを海底か観測支柱に設置して行うことができる。代表的な波高計は図 2.4 に示したものである。この中で、海底に設置可能な超音波式波高計（図 2.4, b）が定時観測にもっとも多く用いられている。その理由は水深 50m の深さまで設置が可能であり、このために異常波浪に対しても破損されずに測定が可能となるためである。

平塚沖観測塔において、使用しているものは空中式超音波波高計(a)、容量型波高計(c)、圧力式波高計(e)の三種類である。図 2.5 はこれらの波高計の特性の相違を示す。もっとも精度が良いのが容量型で、計測可能な周波数範囲は 0.02 Hz ~ 2 Hz まで計測できる。しかしメンテナンスに問題がある。ほとんどメンテナンスを要しないものとして、空中式超音波波高計があるが、精度的にとくに高周波領域で少し悪い（計測周波数、低周波数から 0.5 Hz）。圧力式波高計は高周波の精度（0.2 Hz 以上）およびメンテナンスに難点があるが、水中に設置されるために高波に強いものである。私たちの定時観測は容量型波高計で行っている（写真 2.2）。このシステムについては第 3 章で示すので、ここでは波向計測について述べる。これは容量型波高計の 3 本のセンサー（センサー間約 12 m）の波高計測によるものである。3 点の水面変位のデータを組み合わせることによって、1 点のものに比べて非常に多くの情報を引き出すことができる。図 2.6 は 3 本のセンサーの位置と観測された水面変位の時系列を示す。波向を南南東とすると、センサー①がもっとも早く波を検知し、次に②から③となる。このことから波向が検出されることになる。図 2.7 は 4 つの典型的な天候条件（表 2.1）に対する観測結果である。解析法はパーバ法によった。これらの図から分るように、下式で示される周波数範囲ではほぼ合理的な結果が得られた。

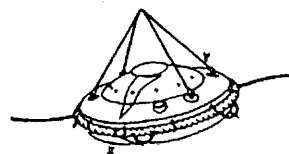
$$0.09\text{Hz} < f < 0.25\text{Hz}, \text{又は } 26\text{m} < \lambda < 130\text{m}$$

ここで f と λ はそれぞれ周波数と波長を表す。

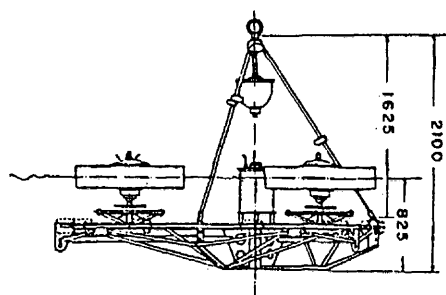
最後にマイクロ波リモートセンシングによる波浪計測技術の開発研究を述べる。この計測法の原



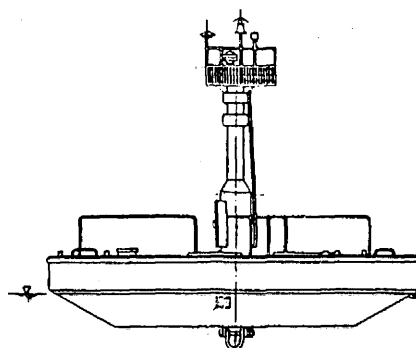
(a) 目視観測



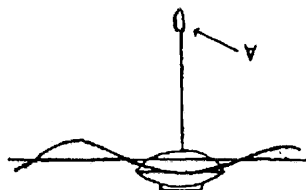
(b) ピッチロール型ブイ
直径 1.7 m で加速度計と傾斜計をもつ。



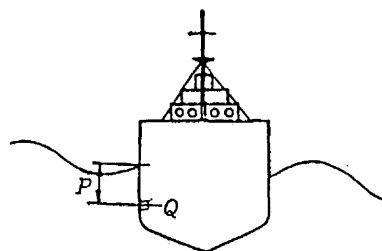
(c) クローバー・リーフ型ブイ
直径 3 m で加速度計と傾斜計 (3 個) をもつ。



(d) ブイロボット
直径 10 m で加速度計をもつ。



(e) 吊り下げ圧力式ブイ
直径 0.7 m で圧力計をもつ。



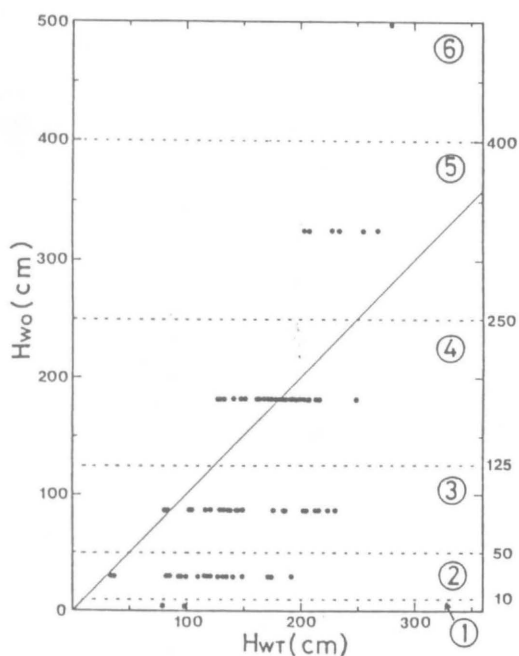
(f) タッカー式波浪計
加速計と圧力計をもつ。

図 2.1 深海用波浪計

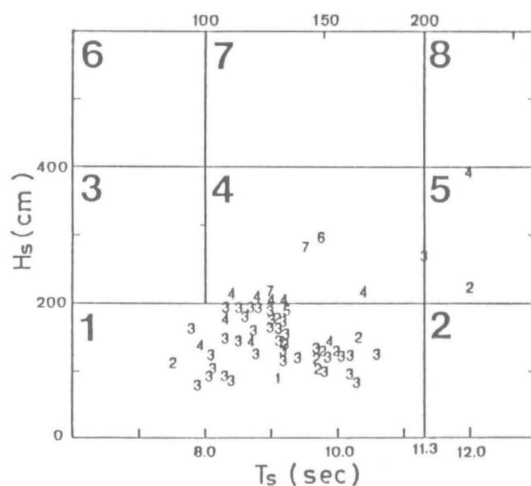
理は 2 つのマイクロ波の発振器を用いて、2 つの近接する周波数の波を発振させ、波長の長いビート波を作り、海面に照射して波浪成分波と共鳴させ、その後方散乱波を受信することによって、波浪の情報を遠隔探査するものである。開発研究は散乱計の設計・製作から計測まで一貫して行っている。写真 2.3 は観測塔に設置された 2 周波散乱計である。現在のところ、まだ解決すべき点があり、今後が期待される。

2.3 データ解析法の開発

2.1 で述べたように、データ解析法の研究は非常に重要なものと言える。今までの解析法は上述したように、有義波法とスペクトル法の 2 つのものがある。実際に波浪解析を行うと、これらの方法だけでは実体に合った結果を引き出すことができない場合がある。それは現実に見る水面の高まりの変動が多く成分波の線形の重ね合せによって果して表現できるだろうかということである。



(a) タッカー式波浪計(H_{wr})と目視観察(H_{wo})による風浪の波高比較、図中の数字は気象庁風浪階級を示す。目視観測の波高値は便宜的に階級の波高範囲の中央値とした。



(b) タッカー式波浪計と目視観測によるうねりの特殊比較 大文字の数字はうねり階級を、小文字の数字は目視観測で得た階級で、その位置の値(H_s , T_s)はタッカー式波浪計から得られた値である。

図 2.2 タッカー式波浪計の観測結果

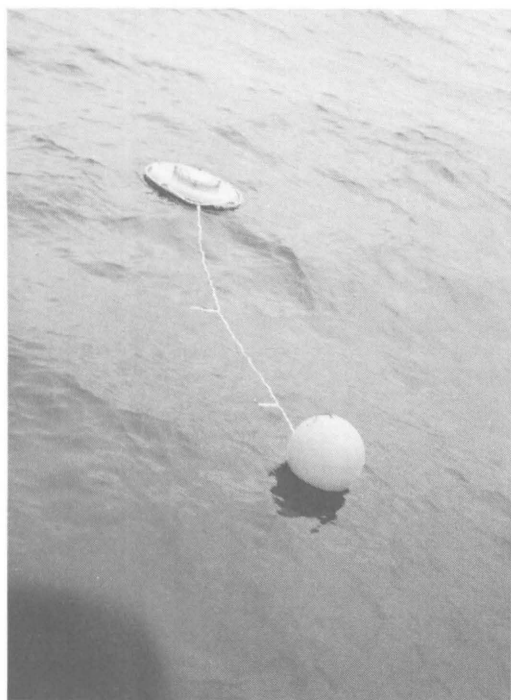


写真 2.1 吊り下げ圧力式ブイ

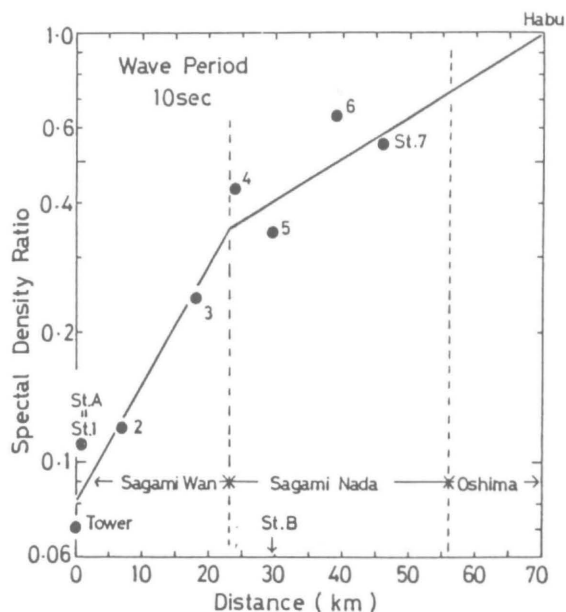


図 2.3 周期10秒のうねりのスペクトル密度の減衰率

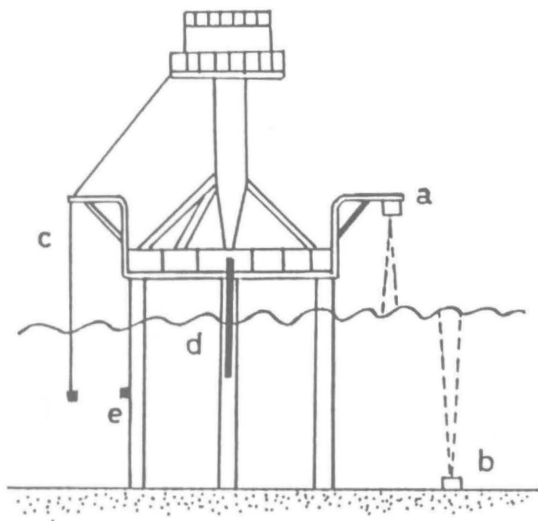


図 2.4 浅海用波高計

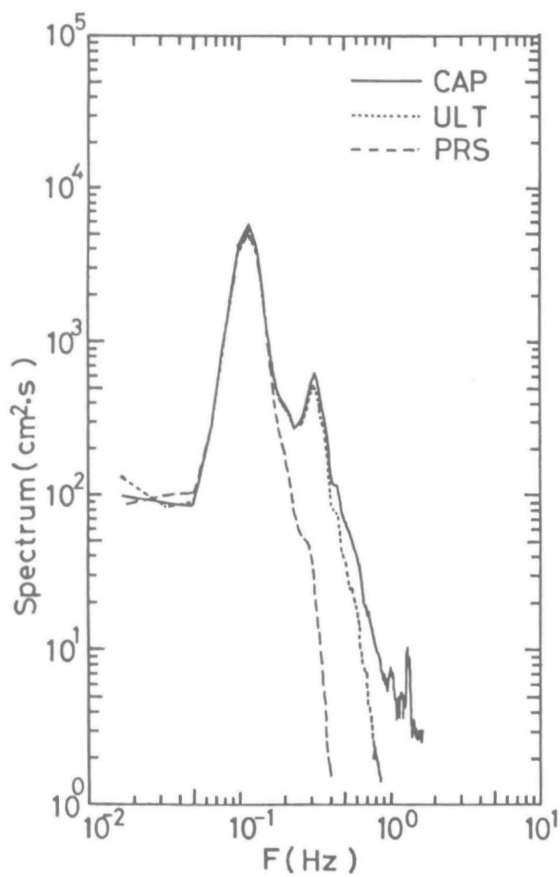


図 2.5 波高計の特性 3 種類の波高計, 容量型波高計(CAP), 空中式超音波波高計(ULT), 圧力式波高計(PRS)



写真 2.2 観測塔に設置された容量型波高計のセンサー

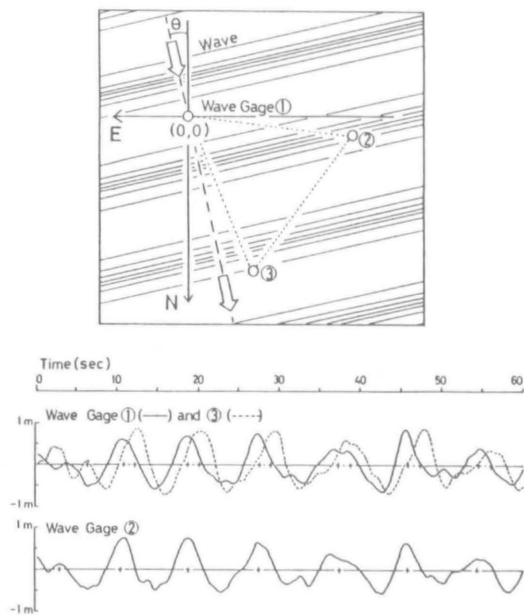


図 2.6 容量型波高計の 3 本のセンサーの配置図と記録の一部

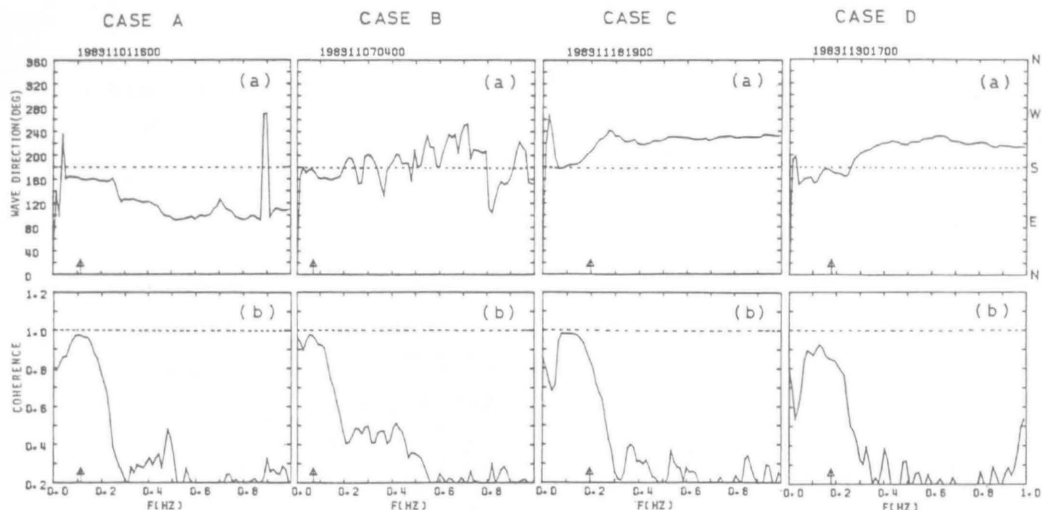


図 2.7 表 1 の気象条件に対する波浪の主方向とコヒーレンス 矢印はスペクトルピーク周波数を示す。これらの結果は 0.5 以上のコヒーレンスの値をもつ周波数領域に対して意味をもつ。

表 2.1 波向観測時の風と有義波高

CASE	年 月 日 時	風向・風速 (m/s)	有義波高 (cm)
A	83年11月 1日 16:00	東 4.4	63.0
B	83年11月 7日 4:00	北 12.8	58.0
C	83年11月18日 19:00	南西 19.7	134.1
D	83年11月30日 17:00	南 12.0	107.1

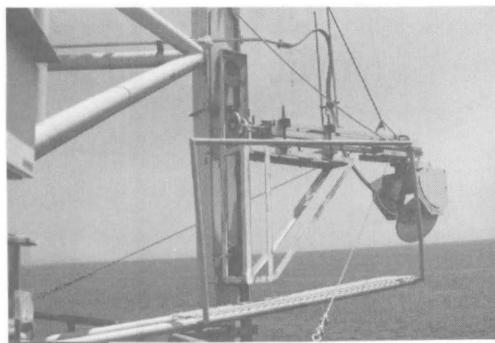


写真 2.3 2 周波マイクロ波散乱計のアンテナ

このようなことから、私たちは高まりとスペクトルの関係をもっと理解しやすく結びつける方法として、個々波法を導入した。これによると、周波数帯 $[f_i, f_i + \Delta f]$ のスペクトルエネルギーは次のように表される。 n はラグ数である。 $i = 1, \dots, n+1$ に対して

$$\Phi_i \Delta f = \frac{1}{2} a_i^2, \quad a_i^2 = R m_i \left(\frac{H_i}{2} \right)^2,$$

$$R m_i = m_i T_i / \left(\sum_{i=1}^{n+1} m_i T_i \right)$$

ここで Φ_i はこの区間のスペクトル密度、 H_i, m_i, T_i はそれぞれ個々波の波高、個数、周期となる。上式より、スペクトルエネルギー密度と水面の高まり — 波高の関係が明確にされた。スペクトル法と個々波法の比較はスペクトル分布に関して図 2.8 に、位相速度に関して図 2.9 に示した。これらの図より、個々波法はスペクトル法とほぼ一致する結果を示すばかりでなく、さらにスペクトル法で得られない結果 — 波形勾配の分布 (図 2.9 の下図) も示すことになる。欠点として、個々波法は単純な 1 つのスペクトルピークの波浪場に対して実体に合った結果をもたらすが、うねりと風浪が混在する、2 つのスペクトルピークをもつ波浪場に対して合理的な結果を出さないことである。この欠点を克服するためには水面変位の時系列が

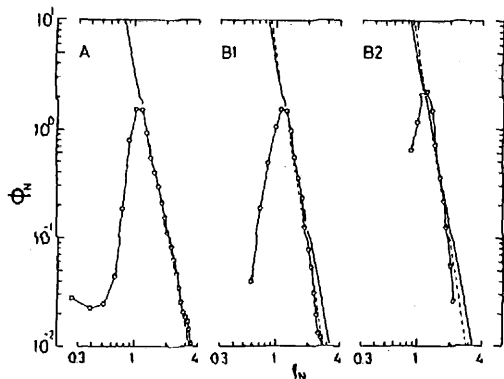


図 2.8 無次元パワースペクトル分布 Aは通常のスペクトル解析法で、B1とB2は個々波法による結果である。B1とB2の違いは前者がゼロ・クロス・トラフツートラフ法で、後者がトラフツートラフ法となる。

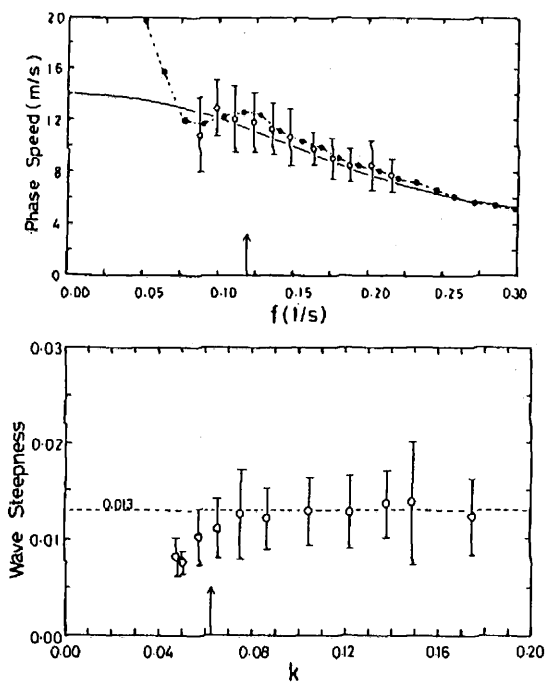


図 2.9 位相速度分布(上図)と波形勾配分布(下図) 上図において、点線が通常のスペクトル法で、実線は水の波の分散関係となる。矢印はスペクトルピーク値となる。

1つのスペクトルピークしかもたないように、あらかじめ時系列を分離するフィルター操作を必要とする。このために、私たちはうねりと風浪を分離する方法をすでに開発した。これはタッカー式船用波浪計(2.2節)のデータに適用され、合理

的な結果(図 2.2 a, b)が示された。今後は観測塔のデータに適用し、波浪の実体を明らかにし、精度の高い沿岸波浪の予測的研究を行いたい。

2.4 波浪災害の調査

2.4.1 近海の波浪災害

近海の波浪の災害は主に船舶の海難となる。最近の大きな海難を上げると、次のようになる。

D 1. 1954 年 5 月, 発達低気圧による北海道近海の漁船の大遭難

D 2. 1954 年 9 月, 台風 5415 号による大型船舶の海難

D 3. 1969 年と 1970 年, 冬季の発達低気圧と季節風による野島崎沖における大型船舶の海難

海難の発生海域は図 2.10 に示した。これらの海難は概略的に次のようになる。D1 は異常発達低気圧によるものである。すなわち, 5 月の日本近海は平均的には穏やかな日が多いが, ときとしてメ

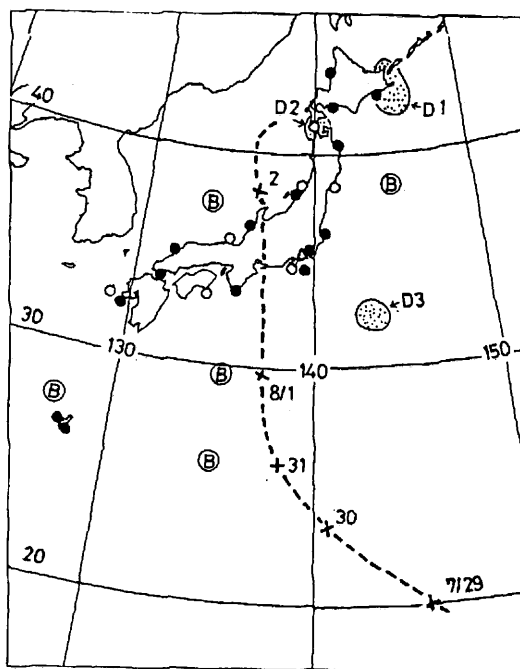


図 2.10 主要な波浪観測点と海難発生場所

- : 気象庁
- : 港湾技術研究所
- △: 国立防災科学技術センター
- ⊗: 気象庁のブイロボット
- ⊙: 海難発生場所

X...X: 1982 年 8 月の 10 号台風の経路

イ・ストームと呼ばれる急速に発達する低気圧の来襲を受け、避難時機を失うことによる。D2は台風によるもので、青函連絡船洞爺丸の函館湾内の沈没に代表される海難である。秋台風は通常は高緯度に進むほど衰弱するものであるが、この場合は逆に発達し、非常に早いスピードで北海道西岸に移動し大きな海難をもたらした。D3は「魔の海域」の海難である。この海域は季節風による強風高波と黒潮の蛇行海域であるために、しばしば三角波のような異常波浪が生じるところである。

上述したことから、D1とD2の海難の原因は急激な気象・海象の変化に対して適切な予報が十分でなく、現象での対応も迅速でなかったことによる。D3の場合急激な天候の変化でないが、予想された以上の高波が生じたことによる。

これらの海難防止のためには、ストームや異常波浪に対しての正確な予報ばかりでなく、現場での情報も必要となる。船用波浪計の研究から、目視観測ではとくに異常波浪に対して信頼のあるデータが期待できないこと（図2.2 a, b）、そして安価で精度の高い船用波浪計測システムが可能であることが示された。よって、簡易型の船用波浪計を実用化し、外洋に出航する船に装備する必要がある。

2.4.2. 沿岸波浪災害

沿岸海域は外洋と異なって単に船舶の航行ばかりでなく、漁業・保養等の人間の活動の場でもある。沿岸波浪は外洋波浪と異なって海底地形の影響を受け、局地性の強い波となる。このようなことから、地域ごとに適した防災対策が必要となる。ここでは相模湾における定置網の災害と海岸侵食の問題について議論する。

(1) 台風による定置網災害の例

相模湾には約50個の定置網が水深30m～40mのところに設置されている。1972年から1982年（11年間）に台風による定置網の被害が続出した。このために定置網の被害に対する台風の強さと来襲コース、湾の有義波高の間の関係を調べた。

図2.11の左図は1982年8月平塚沖観測塔で得られた、台風による異常波浪の観測例である。最大波高7mを記録した。図2.12は台風の進路（図2.10の点線）と異常波浪の発生の関係を模式的に表したものである。これによると、台風が沖にあ

る場合はうねりが卓越する。よって周期が大きく波高もかなり高い。台風の上陸直後から強い南風が吹く。このためにうねりの上に風浪が発達し周期は短くなるが、波高は非常に大きくなり、高波（異常波浪）となる。定置網の災害は強い台風であれば、相模湾付近に上陸しなくても起きる。これは波高の高いうねりによっても大きな災害を引き起こすことを示す。

定置網に被害をおよぼした台風の位置を調べると、図2.13の結果を得た。この図から、被害をもたらす台風は中心気圧が980mb以下で、かつ危険ゾーンを通過するものであることが明らかにされた。網の被害状況を明らかにするために、網の被害率と代表的な有義波高の関係を調べ、図2.14を得た。代表的な有義波高として、湾奥の中心に位置する観測塔の観測値とした。この図から、有義波高が2.5m以上になると、湾の中部と西部で網の被害が出始める。しかし湾の東部はほとんど被害が出ていない。このことは東部は他のところに比べて波高が低かったことが推測される。ところが有義波高が4.5m以上になると、ほぼ一様に全湾内で壊滅的な被害が出た。このようなことから、有義波高が2.5m以上になると、網が危険な状態となり、あらかじめ対策を必要となる。よって台風に対する沿岸波浪災害の防災対策は図2.11の右図に示したものとなる。

(2) 漂砂による海岸侵食

波浪災害で忘れてならない重要なものとして、漂砂による海岸侵食がある。これは主に沿岸波浪によって引き起されるものである。風は季節的に変化する。それに伴って波浪も変化し、その結果砂浜も季節的に変動する。大きくて高い波浪であれば海岸は後退し沖にバーができ、小さくて低い波であれば沖のバーが消えて海岸は元に戻る。このような繰り返しが保持されれば、海岸は侵食されない。

近年、生活水準の向上により、河川水の利用が極度に高まり、上流に多くのダムができ、その上ビルの建築用の砂として川砂利の採取が頻繁に行われ、河口部から海への土砂の供給が減少した。その結果、上記の漂砂のサイクルが保持できなくなり、海岸侵食災害が生じて来たと考えられる。このことは、顕著な海岸侵食地域が大きい河川（1級河川）付近の海岸に集中して見られる事実によ

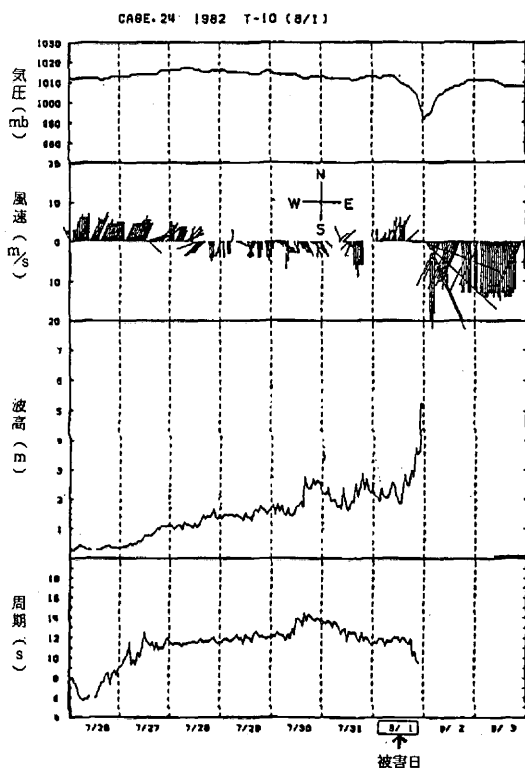


図 2.11 観測塔で得られた台風時の異常波浪の観測例と沿岸波浪の予測ブロック図

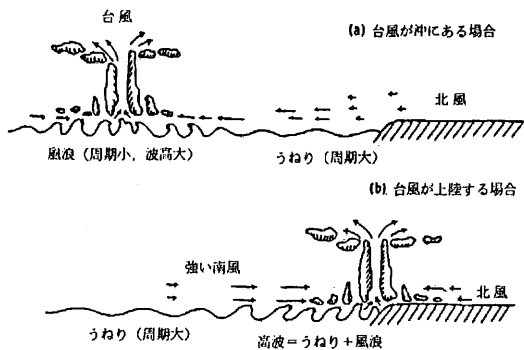
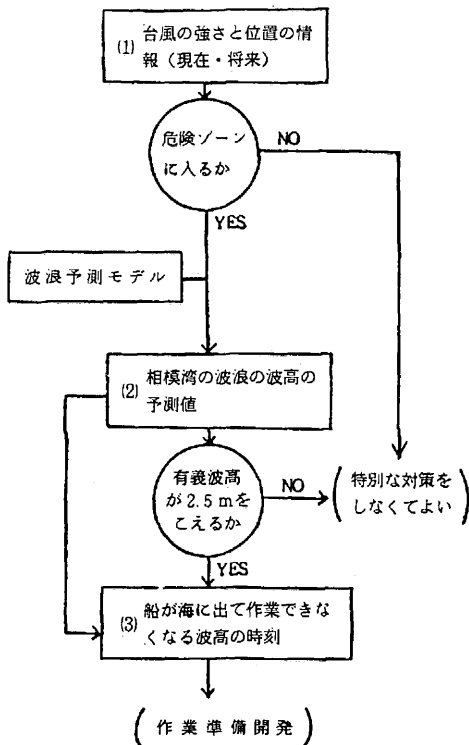


図 2.12 台風による異常波浪の発生状況の模式図

って裏付けられる。

海岸の土木工事を調べると、1960年代までは海水の陸上への侵入を防ぐための海岸堤防が主体的であった。しかし1970年頃から離岸堤が作られ始め、現在では堤防に代ってかなりの割合を占めるに至っている。離岸堤は侵食防止の機能を有し、かつ砂浜をつくる。砂浜は漁業や保養にとって不可欠のもので、今後ますます重要となるだろう。このようなことから、海岸侵食の問題は沿岸

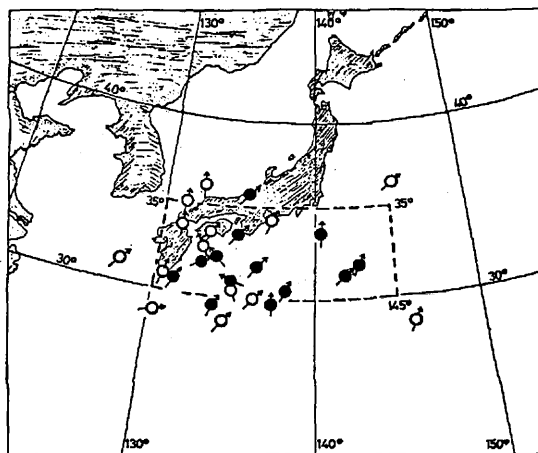


図 2.13 定置網の被害日の台風の位置と進行方向
黒丸は被害をもたらした台風の場合で、その位置は被害日の台風的位置である。白丸は被害がなかった台風の場合で、その位置は相模湾にもっとも近づいた台風的位置である。点線で囲まれた部分を危険ゾーンと呼ぶ。

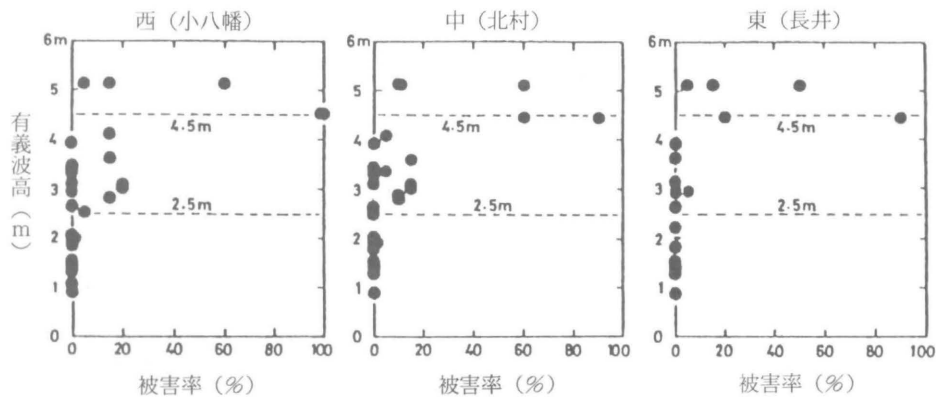


図 2.14 定置網の被害率と有義波高の関係

防災の立場から、養浜対策を含めて幅広い問題として取り組む必要がある。

私たちは上述した考えにもとづき、1985年から振興調整費（重点基礎研究）による「沿岸異常波浪による海底地形変化に関する研究」を開始した。この研究は新しい計測法を開発するとともに、沖浜を含む漂砂の観測的研究を行うものである。観測海域として観測塔に近い相模川河口域を選んだ。この河口域は毎年河口内に砂洲が発達し、河口内に港をもつ地元では社会的な問題となっている所である。研究成果の第一として、沖浜の海底（砂面）の変動が正確に観測されたことである。使用した測器は最近メーカーによって開発された光電式砂面計である。観測結果により、大きな波浪と漂砂現象が密接に関連していることが明らかにされた。第二として漂砂の面的な観測を行うために、風又は気球による空中撮影システムの開発を行った。はじめに写真画像の解析法を開発した。この方法を用いて航空写真の解析を行い、図 2.15 の結果を得た。この図から、河口の左岸側（東の海岸）の汀線は顕著な侵食（ -5 m/年以上 ）を受けていることが分った。写真 2.4 は上記の空中撮影システムで得られたものである。これによって相模川河口の砂洲の発達状況が明確にとらえることができた。

これらの研究成果と、深浅図および観測塔の波浪と流れのデータより、相模川河口域の漂砂の流れは図 2.16 に示すようなものと推測できる。

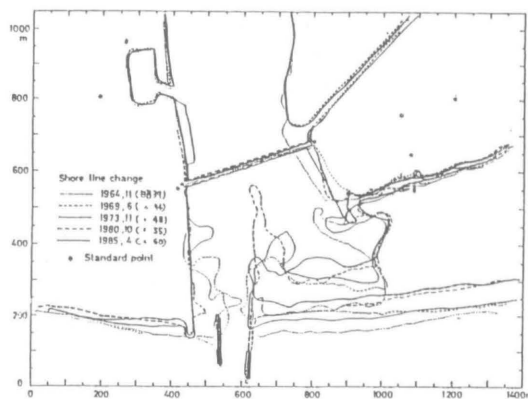


図 2.15 航空写真解析による相模川河口域の汀線の経年変化



写真 2.4 空中撮影装置による相模川河口域の写真

2.5 将来の研究課題

21世紀においては確実に豊富な余暇時間を有する高齢化社会となる。市民は今と比較にならないほど沿岸域を利用するだろう。このような時代に

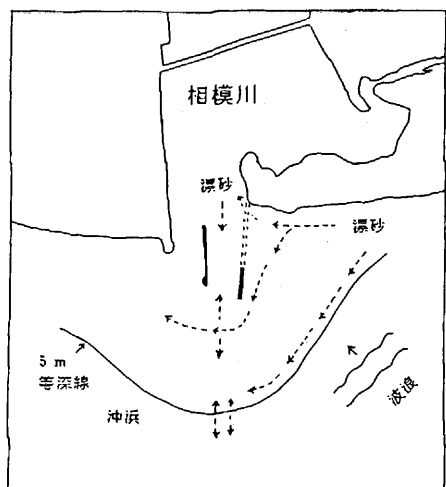


図 2.16 相模川河口域の漂砂の流れの推定

必要なことは、砂浜の高度利用・保全と気象・海象の高い精度の予報技術となる。

このように考えると、沿岸波浪と海岸侵食に関する研究が重要となる。これら両者は非常に密接に関連している現象である。沿岸防災研究において、これらの研究が中心的な課題となる。本章で述べた、今までの研究成果から、今後我々がしなければならない研究課題は具体的には次のようになる。

- (1) 散乱計を含むリモートセンシングによる波浪および海上風の計測技術の確立
- (2) 個々波法による沿岸波浪の予測的モデルの開発
- (3) 船舶用波浪計による船舶安全システムの開発
- (4) 沿岸域（0－20mの水深）の海底地形の面的計測法の開発
- (5) 河川を含めた沿岸域の漂砂の予測的モデルの開発

3 波浪等観測塔における波浪観測について

波浪等観測塔における波浪を中心とした長期間の観測データは直接、当センターの研究に使われるほかに普遍性のある高度波浪情報等としてデータベース化され、行政や地域社会に広く利用され高い評価を受けている。

3.1 波高計の種類

現在、波浪等観測塔に設置されている波高計として機能を有するものには次のものがある。

(1) 容量型波高計

センサーは直径5mmの市販されている銅単心のビニール被覆の動力ケーブルを用いて接着剤により水密加工し、15kgの鉄錘を観測塔のI型支柱により張り出し海面下10mの深さまでつり下げているもので、この波高計の利点は、センサーが安価であること、波高と電気信号の直線性に優れていること、周期の短い風波にも追従する速い応答特性があることであり、長年に亘り観測塔における波高観測の主力波高計としての位置を示めている。難点は、海面に浮いているビニール等の浮遊物がセンサーに巻き付いてしまうこと、海藻やフジツボ等の生物付着があること、ビニール被覆の強度が弱く荒天時波高の高いとき固い浮遊物との接触により破損し水密化がなくなり、全く波高計としての機能を有しなくなるなどがあり、常に良好な状態に保つために、センサーの清掃や取替え等の作業を頻繁に行う必要があることである。

この容量計波高計3台を観測塔を中心に南西、南東および北側に設置し、アレイ式波高計として波高および波の方向観測を行っているが、このうち塔が浮遊物に対する壁となっているため一番破損率が少ない北側の波高計を定時観測用に使用している。

(2) 超音波式水位（波高）計

センサーから海面へ向け垂直に超音波を発射し、その反射時間差により波高値を得るもので、海面に対し非接触形であるため、容量型波高計にみられるような浮遊物および生物付着の心配も起らな

い。センサ部が高価であるため錆に強いステンレス製の堅牢なる保護囲いを行い支柱にしっかり溶接している。この波高計は、1986年11月に設置され、晴天・雨天等の天候による影響や周期の短い波や周期の長い波に対して容量型波高計との比較観測を多く行ったところ図3.1に代表される如く、ほぼ同一線上に重なり容量型波高計と大差がないことがわかった。従って、今後は今までの容量型波高計にかわって設置後の維持管理が比較的楽な超音波式波高計が重要視される。

(3) 長周期波計

圧力センサをスライドチャネル（計測器の取付けや維持管理のためウインチにより上下できる観測支柱）のフランジに取付けられ、通常は水面下約4mに位置している。電気フィルタにより高周波成分が取除かれ、周期の極めて長い潮位計や長周期波計として用いられているが電気フィルタを通す前の信号を取り出すと波浪が得られるが周期8秒以上のうねりに対しては容量型波高計とよく一致するが、それ以下の周期の短い波に対してはほとんど追従しない。ただ、容量型波高計が破損した場合の代用として役立っている。

3.2 定時観測による波浪観測

観測塔で計測された波浪データを陸上施設に設置されているデータ処理装置により処理するためには、データを伝送しなければならない。この方法には、

(1) テレメータ装置によるもの

容量型波高計、超音波式波高計等40成分の計測データをA/D変換し陸上データ受信装置に送るもので、これは、1成分当り20ミリ秒の高速で電送するため、変化の速い現象の観測や、台風観測のような何日にもおよび観測が必要な時に用いられている。

(2) アナログ端子によるもの

計測器からのアナログデータをそのまま陸上側に伝えるもので定時観測用のデータのうち幾つか

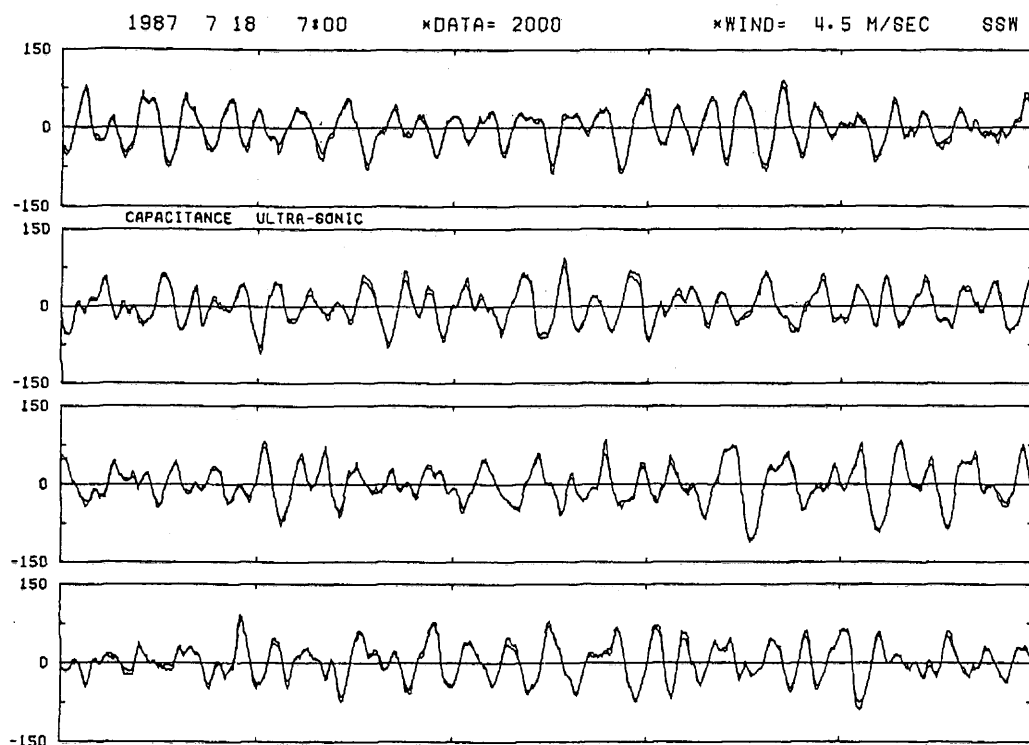


図 3.1 容量式と超音波（空中）式の波高計の出力の比較

はこの方式をとっている。

(3) 遠方制御装置によるもの

主として塔内の空調の制御や計測器の電源を「ON」「OFF」するのに用いられた装置が老朽化し1975年1月にデータ伝送も可能な装置に更新されたもので、伝送速度が遅く、特別の工夫をして波浪の1成分のみ速く伝送できる様な機能をもっている。定時観測は常時データを収集するため前述の高速テレメータ装置の伝送経路は使用できず、専らこの遠方制御装置およびアナログ直送の伝送経路を用いている。定時観測の処理システムは図1.3に示した。32成分のデータをサンプリング間隔300ミリ秒で収集し1分単位にまとめレコード化してゆく、タイマーが毎正時30分になると、あらかじめ待機していたジョブプログラムが順次実行され、波浪の生データファイルと波浪統計、パワースペクトル計算等の処理ファイルが作成されてゆく、これら一連の処理は全て自動的に行われている。このシステムは1982年11月から稼動し満5年になるため、更に充実したシステムに更新する予定である。

3.3 波浪と風の長期特性

過去8年間に亘る観測データから、観測塔付近の風の分布および波浪の特性を知ることが出来る。全てのデータをプロットすると図が煩雑になるので、日平均や代表例を用いた。風向風速分布や波浪は年毎のバラツキはあるが四季別による傾向が強く表れている。図3.2は風向および風速の分布で、毎時のデータを冬期(12月~2月)、夏期(6月~8月)に分け16方向で表わしたもので、上図は各方位の度数を%でプロットした。下図は各方位に対する平均風速をプロットしたものである。年間を通し、沿岸と平行な東および西の方向の風は、極めて少ない。冬期では北寄りの風が74%の頻度であるが、季節風により強い西寄りの風が吹く傾向がある。春期には、気候もだんだん暖かくなり、南風が吹く頻度が多くなり、夏期には陸風海風の傾向が明確に表われ、秋期に至り冬期の傾向に近ずいてくる。これがほぼ同じサイクルでくり返されている。図3.3は、季節の傾向がよく表われている波浪分布の代表例で1月、4月、8月、10月

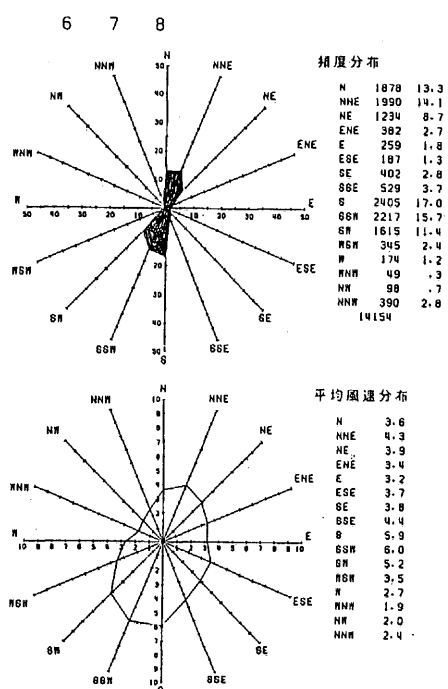
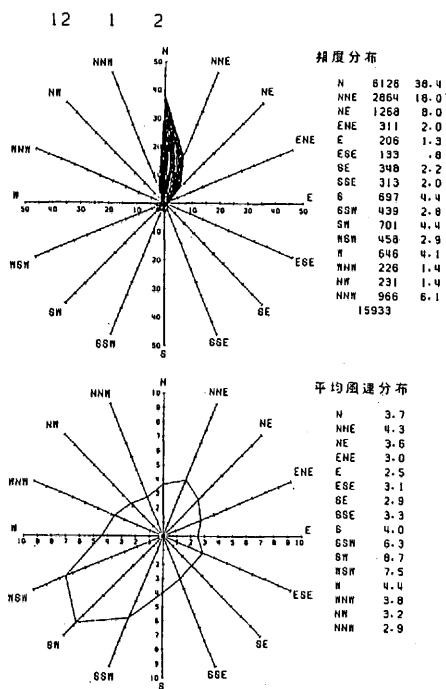


図 3.2 8 ヶ年間の観測データから求めた平塚沖の風向・風速分布の特性

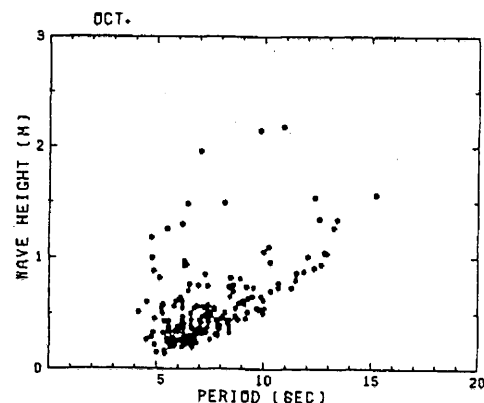
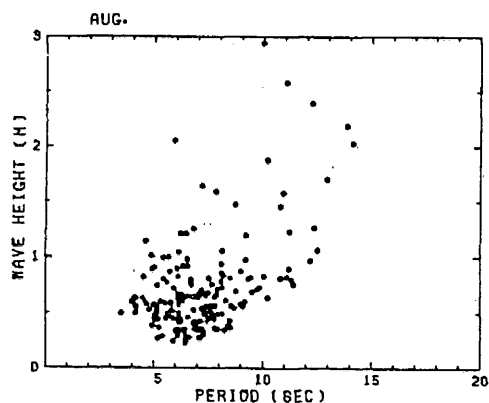
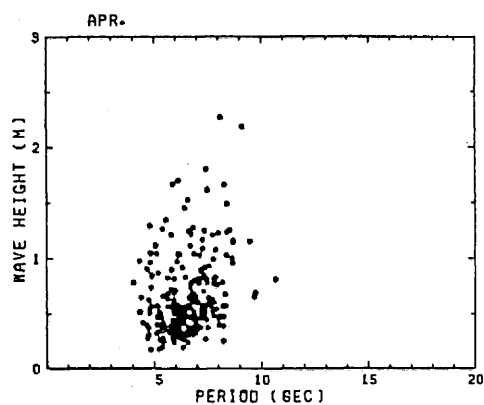
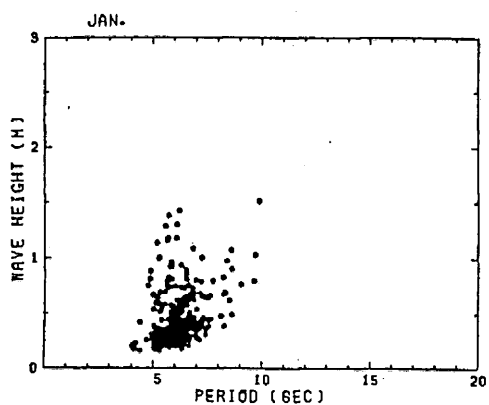


図 3.3 8 ヶ年間の観測データから求めた平塚沖の波の波高一周期特性

について、一日の有義波高の平均値をプロットしたものである。1月の図は、周期と波高の集中度が最も高く、大きな風浪の発達は見当らない。4月には、突風に代表される如く、強い南風が吹き、波浪も大きく発達している様子が判る。8月は台風の影響により波高も大きく、周期の長いうねりの分布が多くなる。10月は遠方からのうねりにより長周期の波が多くなっているが、8月に比べ波高は小さくなっている状態が判る。これらが、毎年繰り返される平均的な傾向であるが、表3.1は年別の1月と7月の最大波高、1/10波高、1/3有義波高の最大値と平均値等で、最大風速(10分間平均)はその月における最も強い時の風速と方

位を示した。観測日数は、通常、毎時24回のうち、一回でも観測できた日も含めた日数で、その日の波高のうち最大波高が、それぞれ、1 mおよび2 mを越えた日か何日あったかを示したものであり、その月に対する海上の荒れ状態を表わしている。最大波が2 mを越えた日は、海上での作業は困難な時で、多い月では13日にも及ぶことがある。また、過去においての最大波高は、1985年7月1日に相模湾を直撃した台風6号による9 mを越す波浪記録である。台風時においてはセンサーの破損等により欠測が目立って多かったが今後は、前述の非接触形の超音波式波高計に多く期待されるところである。

表 3.1 平塚沖の波浪統計 (年別)

1 月

年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
最大波高 (cm)	—	423.3	288.7	299.7	346.1	226.4	266.7	369.9	491.3	450.2
最大波高の周期 (秒)	—	6.9	6.9	5.7	9.9	3.6	10.2	6.0	8.7	6.3
1/10 波高の最大値 (cm)	—	312.7	228.2	205.8	252.4	155.3	200.3	243.0	234.4	324.4
同上の周期 (秒)	—	6.8	7.5	6.3	10.7	6.3	9.3	5.6	6.4	6.9
1/3 有義波高の最大値 (cm)	—	255.7	176.4	160.2	206.1	124.6	150.2	188.8	185.8	257.4
同上の周期 (秒)	—	7.9	5.7	6.7	10.9	5.6	9.4	5.7	6.1	7.3
平均波高 (cm)	—	56.7	62.5	47.4	46.9	47.5	38.5	36.2	57.2	74.7
平均周期 (秒)	—	6.5	6.2	6.1	6.4	6.2	6.1	5.9	6.3	5.9
最大風速(10分間平均) (m/s)	—	16.0	16.0	23.3	17.8	21.1	19.3	20.2	18.5	19.1
最大風速時の風向	—	SW	SW	S	SW	SW	SW	WSW	SW	SW
観測日数	—	28	31	31	29	31	31	31	29	29
最大波高が1 mを越えた日数	—	15	24	17	17	22	10	13	21	25
最大波高が2 mを越えた日数	—	7	9	4	5	5	3	4	9	12

7 月

年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
最大波高 (cm)	—	297.4	437.9	572.8	481.3	383.9	286.7	914.9	289.3	—
最大波高の周期 (秒)	—	4.8	7.2	7.2	14.4	12.9	7.8	7.5	10.5	—
1/10 波高の最大値 (cm)	—	242.7	198.4	250.7	357.8	216.9	199.7	701.4	195.3	—
同上の周期 (秒)	—	5.7	8.0	11.3	12.4	6.9	8.1	7.3	12.9	—
1/3 有義波高の最大値 (cm)	—	190.5	154.3	214.0	284.8	170.8	162.0	601.1	154.4	—
同上の周期 (秒)	—	6.3	7.9	11.8	12.6	6.9	8.1	8.3	9.2	—
平均波高 (cm)	—	60.9	59.0	57.6	69.3	54.9	56.4	75.4	61.9	—
平均周期 (秒)	—	6.6	6.7	6.1	7.3	6.4	6.4	6.4	7.7	—
最大風速(10分間平均) (m/s)	—	15.0	15.1	13.1	15.9	18.5	10.9	27.8	17.8	—
最大風速時の風向	—	SW	SW	SSW	SSW	SW	N	SSE	SSW	—
観測日数	—	31	31	29	31	31	31	31	31	—
最大波高が1 mを越えた日数	—	24	22	19	24	26	22	27	20	—
最大波高が2 mを越えた日数	—	5	7	7	8	6	5	10	9	—

4. 海上の強風防災に関する研究

4.1 多様な災害をもたらす強風

沿岸域が生活圏の大部分を占める我国では風による直接・間接の災害が発生するとき、その風は海洋上において性格づけられた風即ち海上風であると言ってよい。

風が原因となってひきおこす災害は樹木・家屋等の倒壊、橋りょうや高压送電線の破壊などがあるが、高波・高潮の発生、大気汚染物質の輸送、異常気象への寄与など間接的な災害要因を生み出すことにも風が深くかかわっている。この節では直接的な風害をもたらす風の性質を中心として研究の流れを述べる。

強風を地表面（または海面）にもたらす大気擾乱の主なものは、台風、春季の東シナ海低気圧、竜巻、ダウン・バースト、冬季の北西風などである。他に局地的なその地域特有のだし風がある。一方米国ではトルネードの破壊力が大きく非常に恐れられている。

台風は日本をはじめ東アジアに毎年多くの被害をもたらす強い気象擾乱であり、豪雨とともに強風も長時間続く。台風の発生発達メカニズムや渦の構造については古くから研究されてきた。近

年それらの理解も進み、台風の渦に関する室内実験も始められるようになった。台風の本土上陸数は近年減少する傾向がある。しかし島嶼も含めて沿岸域では最も恐しい自然の猛威である。図4.1に1977年7月末に沖縄県八重山諸島を襲った台風7705号の石垣島での記録を示す（石崎ら, 1978）。台風通過時の1時間毎の10分間平均風速および正時の気圧の値を時間とともに示したものである。図の左側に西表島の記録を併記してある。台風を中心（最低気圧を記録した時刻）を少し過ぎてから最大の平均風速 53 m/s を記録していて、台風中心と最強風域とが離れていることが分る。なおこの台風の瞬間最大風速は 70.2 m/s で、かなりの被害を出したが、規模は中程度であった。

竜巻とダウンバーストの報告は年々増加している。1978年地下鉄東西線列車転覆をもたらした竜巻に関しては綿密な調査に基いてモデルが提案されている（内田ら, 1979）。ダウンバーストは急激な下降気流（突風）で飛行場近辺で発生した場合着陸失敗など重大な事故を招く場合がある。この小規模擾乱に関する研究は、米国においてレーダ気象学の発展とともにかなり進展しているが、我国では端緒についたばかりである。

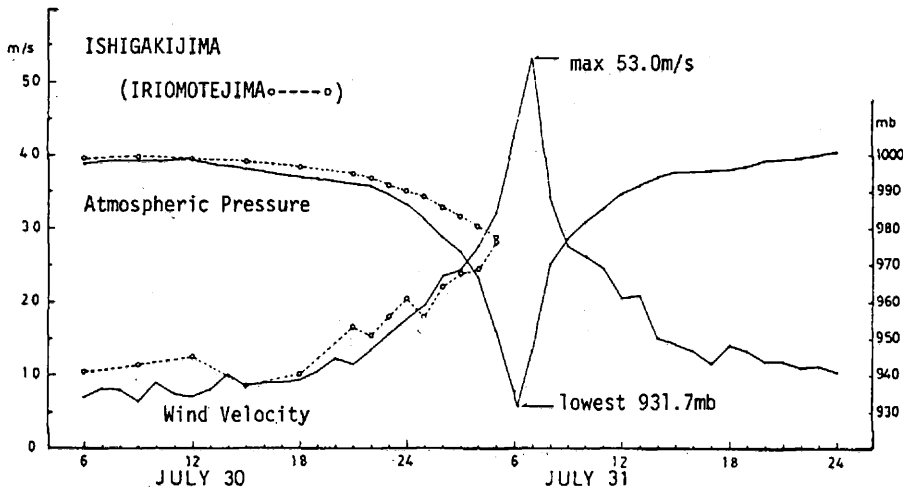


図4.1 石垣島近辺を通過した台風7705号の風速と気圧（石崎ら, 1978）

冬季の大陸からの強い寒気の吹出しは日本海側、とくに東北日本に降雪と強風をもたらす。このうち生活・経済に支障をきたす地吹雪のメカニズムの解明と防止方法は当センターを中心にして研究の途上にある。

外洋に向って開かれた相模湾内に存在する当所の観測塔は、海洋上の特性を持つ風の挙動を観測研究するために非常に良いプラットフォームである。更に海洋は陸地では不可能な長い吹送距離を与えてくれる。従って塔で取得したデータは海洋上の大気境界層の構造を明らかにするだけでなく、陸面等を含めた境界面上の気流の基本的な性質をも示してくれる。当所は設立以来海洋に関係する諸現象の最初の位相である風についていろいろな視点から調べてきた。また海上風の測定手段としてマイクロ波散乱計の開発研究を行った。散乱計は衛星に搭載して広域的海面を探索し風向風速分布を与えることを目的としたもので、塔および航空機搭載による実験によって基本的なアルゴリズムを示すことに成功した。

近年の主な課題は沿岸災害の発生にかかわる強風に関する研究であり、種々の大気擾乱によってひきおこされる強風の性質を観測から評価することを目的としている。強風の原因となる擾乱の挙動を明らかにするためには、長時間の連続測定と大量のデータ処理が必要であり、コンピュータ機能の著しい向上によって可能となった。

4.2 海上風の特徴

日本の南岸に強風が吹く条件は、日本海または列島を発達した低気圧（台風、東シナ海低気圧など）が進む場合である。図4.2に1986年5月に日本海を通過した温帯低気圧による強風の10分間平均風速の推移を示す。一般にメイ・ストームと呼ばれる嵐で台風なみの強い南風が吹く。図は観測塔の2高度において測定されたもので、風向風速の変化は激しい。この現象は発達した低気圧の南側にある暖域で、天気図には表われない強い中小規模擾乱が存在していることを示唆している。強風は低気圧の中心から多少遠くてもしばしば起るものである。2高度の風速の差がかなりあるが、通常の海面上の大気層では図で示したケースでの2高度における風速の差は小さい。夏季に発達し

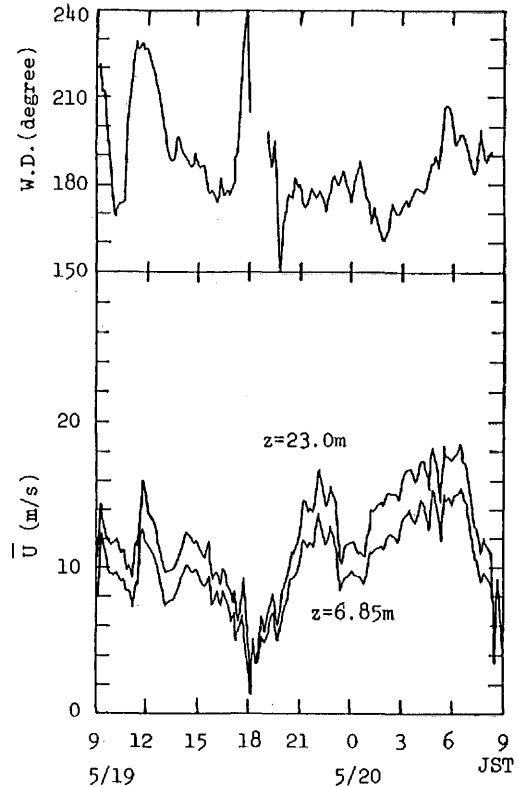


図4.2 発達した温帯低気圧による強風，1986年5月

た北太平洋高気圧が日本列島を覆うようになると、長時間にわたって南風が吹く。このときは図のような強風はなく、定常な状態が続く、高度差による平均風速の差異も小さい。

海面上を吹く風は通常の場合、陸地面を吹く風よりもはるかに穏やかである。即ち海上風の風の息は平均風速がかなり大きくても陸上風に比べて小さい。地表面を吹く風はその粗さの程度によって変動の大きさが決まるから、海上風は大小幾つもの波浪に覆われた海面を粗くなく感じているのである。気流が見た地表面の粗さを表現する指標である空気力学的粗度は、海面で0.1mm～0.2mmであり、草原で約10mmであるから海風の息が小さいのがよく分る。この事は最も海上風を特徴づけるものである。

しかし風は本来持っている大気擾乱の挙動に支配され、境界層としての性質を越えた特性を示す事が少くない。図4.3に強風時の突風率を平均風速に対して示す。突風率は平均風速に対する最大瞬間風速の比を表わすもので、風速変動の程度を

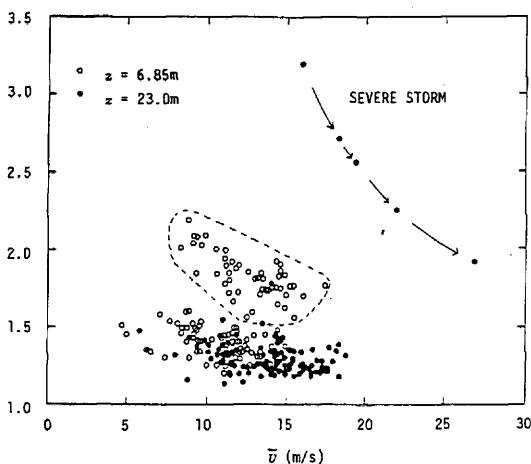


図 4.3 種々の大気擾乱による海風の突風率

示す。測定値は観測塔の2高度において測定したもののだが、それらの差はほとんどない。図の下方の一群のデータは通常海風に対するもので、風の息が穏やかな事を表わしている。一方破線で囲まれたデータや右上方の矢印が付いたデータは強い大気擾乱による強風に対するもので、風の息は非常に粗い。上空の擾乱が海面の近傍まで及んでいるのである。

風速変動の空間相関は大気乱流の空間的性質を知るだけでなく、構造物の耐風設計の見地から建築学、橋梁工学で次第に重視されるようになった。観測塔の周りに設置した数台の超音波風速計によって同時に測定した風速変動の3次元空間成分を解析し、風の乱れが相関をもつスケールを評価した。即ち風の乱れを幾つもの渦（乱渦または相関渦）が重なり合っていると考え、それらの大きさを求めてみた。風が変動する周期に従って乱渦のスケールが算出される。例として、平均風速10m/s海面からの高さ10mで、周期10秒の場合、風向方向、横方向および鉛直方向がそれぞれ54.0m、7.4m、8.0mの大きなフランスペン状の渦となる。この乱渦は高度が上るとともに大きくなり、周期が短いものは小さい。大気境界層内では、およそ1秒から数分程度の周期の乱渦が重なり合いながら風向方向に流れていく様なモデル化が考えられる。

風速変動の強さを周期（または周波数）毎に評価するためには、パワースペクトル密度を求める。

図4.4に強風が長時間続いたときの周波数スペクトルを示す。図中のDは測定時間、 $\bar{U}_1$ 、 $\bar{U}_2$ は高度7mと23mでの全測定時間の平均風速を表わす。それぞれ年間数回出現する程度为数少い事例である。スペクトルの形は高い周波数のところにピークを持ち、それよりかなり低い周波数のところに谷を持つことが図より分る。測定した高度にもよるが、このピークは10秒から100秒程度の範囲にあり、海上風の場合は陸上風よりも低周波数側に偏っている。一方谷の方は5分から15分程度の変動の周期にある。この谷は気流が地表面に支配されなくなる限度を示すものと考えられ、これよりも長い周期の変動は大気擾乱自体の運動である。

海面近くの大気境界層のメカニズムはこの層を包む大きなスケールの擾乱と不可分であり、これからはより広域的な観測が必要となってくる。

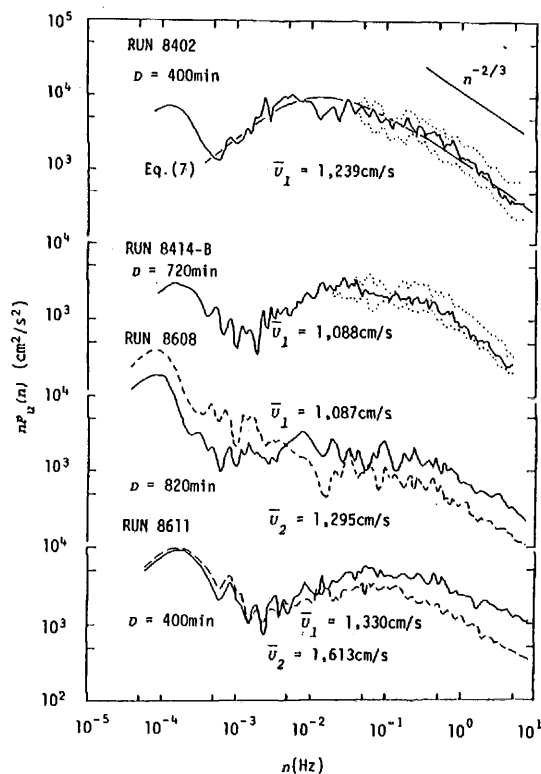


図 4.4 長時間継続した強風の周波数スペクトル

5. 海洋リモートセンシング技術の開発研究

5.1 沿岸防災研究とリモートセンシング

日本における沿岸災害の危険性は、時代の進展とともに質的に変わってきており、より高度な沿岸ないし海洋防災科学技術が要求される。

すなわち、従来からの防波堤、防潮堤などの施設の建設と並行して、災害要因となる異常現象をよりの確に予知・予測することが、現在の沿岸防災科学技術の重要な課題である。

沿岸における津波、高潮、高波、強風、海氷などの異常現象の出現を予知・予測するためには、現象自体の把握に続いて、その現象の発生・発達、伝播、変形等の物理過程を外洋域から追跡できるような高精度のモデルの構築と、その検証のための広域観測手段の確立を図らなければならない。防災研究の対象を沿岸から外洋に広げる必然性もここにある。

この問題に対応しうる海洋観測手段としてリモートセンシングが注目されるようになったのは比較的最近のことである。異常現象を巨視的に把握し、それが外洋ないし沿岸海域を伝播・変化していく様子をとらえるには、衛星からのリモートセンシング技術による広視野、高分解能のデータが有効な情報を提供しうるものとして大きな期待が寄せられている。

5.2 海洋リモートセンシング技術の動向

人工衛星を使って地球をグローバルに観測する試みは、まず気象学の分野で1960年に始められた。波浪や海流などの海洋現象を衛星からのリモートセンシング技術を使って観測しようという企ても、米国の Pierson 教授ら多くのの人々によって、その当時から進められてきた。光学センサー、すなわち可視域や赤外域の電磁波を介してのリモートセンシングで海面の色の差や、海面温度についての情報を得る方法はすでに1960年代に実現していたが、雲によって視野を遮えざれることは、海洋観測に必要な空間的、時間的連続性を損う点で大

きな欠点となり、有効な観測手段として広く認知されるまでに至らなかった。

この弱点を克服したのがマイクロ波センサーである。NASA が1978年に打上げた海洋観測衛星 SEASAT 1号は一度に四つの異なる型のマイクロ波センサーを搭載し全部の実験に成功した。これによって衛星リモートセンシングによる本格的海洋観測への期待は飛躍的に高まった。マイクロ波散乱計による海上風ベクトルの観測、レーダ高度計を使った波高、海流の観測は1990年代の初頭には実用化される計画が固まっている。また光学センサーの技術の進歩も目ざましく、雲の障害はありながらも、すでに気象、海洋、水産等の分野で広く実用に供せられている。

5.3 平塚支所における海洋リモートセンシング技術の研究

わが国でも宇宙開発計画の一環として衛星リモートセンシングによる地球観測の実現の推進が図られ、静止気象衛星 GMS シリーズに引続いて昭和62年2月には、海洋観測衛星 MOS-1 (もも1号) が打上げられた。科学技術庁ではセンサー開発のための基礎研究や利用技術研究を促進するため、昭和52年度より、海洋開発調査研究促進費による「海洋遠隔探査技術の開発研究」を実施してきた。これはわが国における海洋リモートセンシング技術に関するはじめての組織的な研究となった。当センターでも当初よりこの研究の主要メンバーとして参加し、平塚支所において、能動型マイクロ波センサーによる、波浪と海上風の計測技術の開発研究を担当してきた。昭和52～56年度の第1期には、単周波マイクロ波散乱計による海上風計測技術の研究、昭和57年度からの第2期以降においては、散乱計技術の発展形として、海上風と波浪の各要素が計測できる2周波マイクロ波散乱計の開発を進めてきた。

これらハード技術の開発を含む研究と並行して SEASAT 散乱計データからの海上風情報の抽出

法、航空機搭載の合成開口レーダ（SAR-580）による波浪の観測実験（宇宙開発事業団との共同研究）、MOS-1の航空機及び衛星検証（同）、あるいはランドサット衛星のMSS画像を使った津波浸水域の痕跡の識別などの利用技術研究および現象解析研究の分野でも先導的な研究成果を挙げてきた。

また昭和62年度からは振興調整費による「太平洋における大気・海洋変動・気候変動に関する国際共同研究」の中で「MOS-1衛星等のデータによる大気・海洋相互作用の解析的研究」を分担することになり、気候変動に伴う災害のようなグローバルスケールの現象に作用する重要因子としての大気・海洋相互作用という、衛星データの利用対象としては最適の、そして国際的にも大きな期待のもたれているテーマに挑戦する機会を得た。

波浪等観測塔の精密観測、長期継続観測に適した機能にとって、海洋リモートセンシングのセンサー開発研究や、利用技術研究は不可欠なものとなっている。今後はリモートセンシングによる広域観測と、波浪等観測塔による精密かつ長期観測とを結合することによって、海洋の異常現象の外洋から海洋に至るまでの過程の全面的な把握と、その予測のためのモデル作成が効率的に行えるようにしたいと考えている。わが国の沿岸災害を最小限に軽減するために先端的科学技術の最大限の応用を図るため、リモートセンシング技術の利用はきわめて有効である。

5.4 主な研究と成果

5.4.1 マイクロ波散乱計技術の確立

マイクロ波のレーダで海面を斜め上方より照射し、その後方散乱波の受波信号の強度を調べてみると、海面上の風向・風速に依存するという実験結果が、Bragg 散乱モデルで理論的に説明できることから、米国では早くから実用化の研究が進められ、1978年のSEASAT-1のミッションで成功した。日本では平塚支所において1977年から研究が始められ、14 GHz、ペンシルビームのレーダを試作した。1980年までには航空機による基礎的実験を成功させ、わが国でも、散乱計による海上風測定についてのリモートセンシング技術を修得できた（内藤、徳田、渡部、1984—図5.1参照）。

一方、この間、複雑な散乱計の理論についての考察（竹田、1980）、およびSEASAT衛星の観測データを実際に入手して、独自のノウハウによる、海上風向、風速場の解析を行って（竹田、1981—図5.2参照）、平塚支所は、日本におけるこの先端技術の全面的な修得と確立では中心的な役割を果たした。

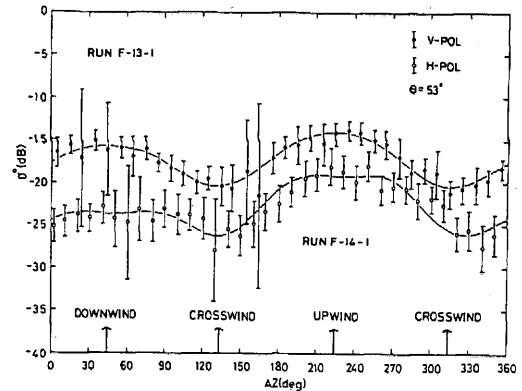


図 5.1 当センターのマイクロ波散乱計の実験で得られた散乱強度 σ と風向の関係

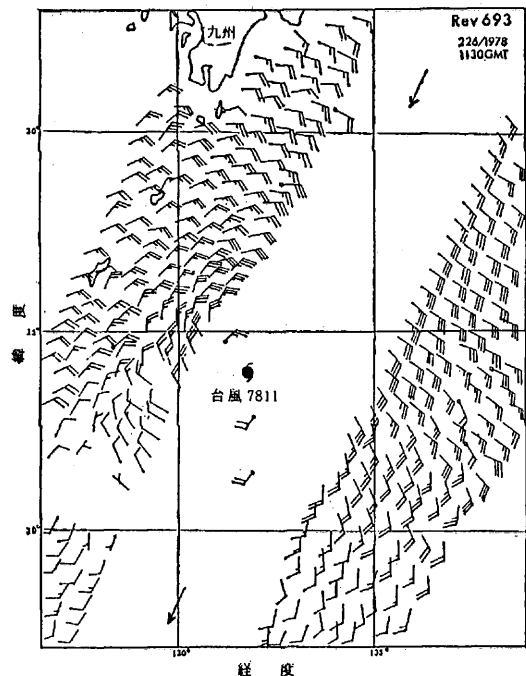


図 5.2 SEASAT 衛星の散乱計データから解析された日本南方洋上の台風周辺の風

5.4.2 2周波マイクロ波散乱計の開発

沿岸防災科学技術にとっては海上風と共に波浪は重要な災害要因として、その広域観測技術の開発が一つの研究目標となる。マイクロ波散乱計技術のノウハウを修得した平塚支所では、つぎのステップとして、欧米で理論的にアイディアが提案されていた2周波マイクロ波散乱計の開発に挑んだ。

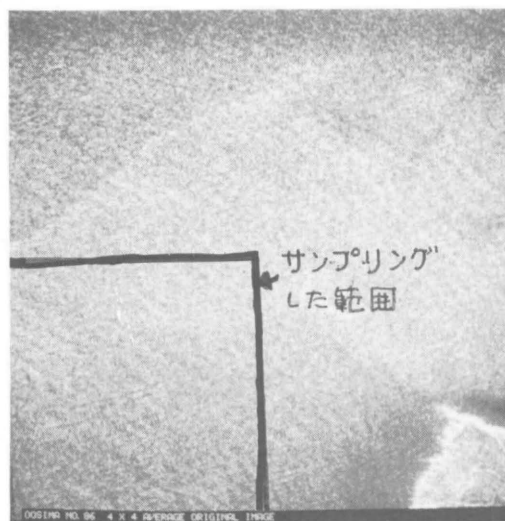
これは、極めて近接した2波のマイクロ波の周波数を可変することにより、波長が10m～数百mのビート波を発生して海面を照射する。このビート波の波長は、海面の波浪の波長と同程度であるため共鳴（ブラッグ）散乱によって、波浪の情報（波長、波向、波高）を含んだ後方散乱波を発信点に送り返す。この信号を特殊な方法で処理解析することにより波浪情報が得られるというものである。昭和57年度に簡単な実験用レーダを試作し実験に成功した（竹田、徳田、渡部、1985）のち、実用化のための改良を続け、パルス波、周波数自動掃引、風向・風速測定可能、波高測定可能等の独自に考案した性能、機能を加えて、航空機搭載用の広域波浪・海上風計測センサーとして62年度に完成した。詳細は2.波浪防災研究の項を参照されたい。

5.4.3 合成開口レーダによる波浪情報の計測

合成開口レーダは通常 SAR と呼ばれ、衛星や航空機などの飛翔体に搭載したアンテナから真横の斜め下方に向けて地表を照射し、後方散乱によってアンテナに戻ってきた信号を処理することによって照射した地表部分の形状を高分解能の画像とし描き出すセンサーである。マイクロ波であるため雲に遮られることがなく、また夜間でも観測できる点に最大の特長があるほか、地表の事物によって散乱の特性が大きく異なる。海面の波浪の場合、測定対象として好都合な条件と、不都合な条件をもっており後者を克服すれば、広域の2次元波浪情報の観測手段としてきわめて優れている。

SARはSEASATにも積み重ね大きな成果をもたらしたが、近い将来、ヨーロッパと日本のERS-1衛星に搭載が予定されている。昭和58年秋、宇宙開発事業団は基礎実験としてカナダから航空機搭載のSARをチャーターして当センター等と共同研究を行った。平塚支所では海洋波浪情報の

抽出を担当してシートルース観測を行うとともに SAR 画像の解析を行い、2次元フーリエ解析によって比較的容易に沿岸波浪の特性を定量化できることを示した（竹田、徳田、渡部、1987、写真5.1参照）。



a



b

写真 5.1 a, 伊豆大島近海の波の SAR 画像 (SAR-580 による) と b, 波浪パターンの 2 次元フーリエ解析結果

5.4.4 衛星画像による津波・高潮浸水域の判定

可視、赤外線域のセンサーは歴史も長く、高度に発達しており、ランドサット、SPOT、MOS-1等に搭載され、地上を頻繁に観測しており、その実用上の価値は高い。一方、津波、高潮などによる災害は広域に及ぶため地上からの調査は多くの時間と労力を要し、また客観性に欠ける面もある。その要因となる現象は一過性であるため衛星観測の対象としては不適當であるが、海水の冠水によって生じる、植性や土壌への影響は数週間、ものによっては数ケ年も続き、浸水の痕跡として残る。MSSやTMあるいはMESSRなどの高解像度の分光画像センサーは植生や土壌などの変化を検出することが可能であり、天候によるデータの欠損はあるものの原則として定期的に同一地点の観測をしている。このような利点を生かせば、津波や高潮による浸水域を衛星データから判定することが可能である。昭和58年の日本海中部地震津波の秋田県峰浜村の被災地をこの方法で判定することに成功した（竹田、都司、高橋、1986、表紙写真および図5.3参照）。

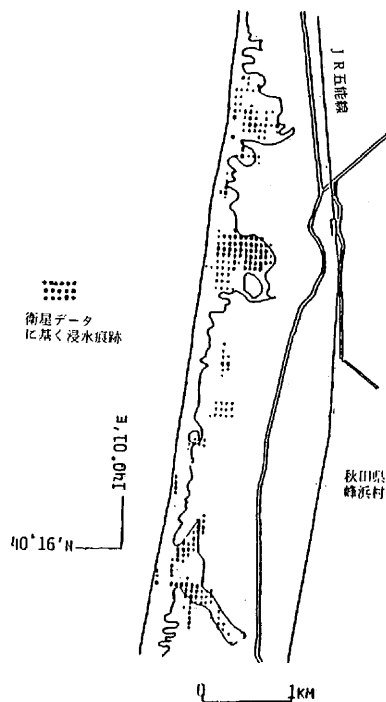


図 5.3 LANDSAT衛星のMSS画像データから求めた日本海中部地震津波の浸水域

6. 津波・高潮防災に関する研究

6.1 津波・高潮に関する初期の研究課題とその成果

津波・高潮はともに長波である。ここで長波とは波長が水深の20から25倍以上のものを言う。津波・高潮が防災という観点から問題となるのは、長波であるが故である。このことについて津波を例にとり詳しく説明を試みる。

津波は何等かの原因で生じた海底の隆起・沈降がほぼ生き写しに海面に移され、これが波として四方に伝わる現象である。海底に変動を起こす主な原因は地震であるが、他に火山爆発、地滑りなどが考えられる。原因を地震に限ると、日本では、津波を発生させる地震の震源域は海溝付近にほぼ限定される。北海道の太平洋岸、三陸沖、そして東南海道の地域的な差はあるにせよ、1923年関東大地震は例外として、海岸からは数十km以上離れた海域で津波は発生する。発生直後の津波は水平のスケールで50 km × 100 km、鉛直スケールで数mの規模であるので海上ではほとんど判別できない。

波の力学を考えると波をいろいろな波長の正弦波の重ね合わせとして扱うと便利なが多い。波の伝わる速度は波長によって異なり、一般に波はその伝播の過程で正弦波の成分波に分かれてしまいその初期の形を保持できない。この現象を分散という。しかし、長波の場合その伝播速度は波長によらず、 $\sqrt{gh}$ で表される。ここで g は重力の加速度、 h は波の高さまで含めた水深である。津波の発生直後の水平スケールがおおきいのでその成分波の波長も長いものが卓越しており、津波はほとんど全ての成分波が同じ速度で伝播する。また、日本海中部地震津波のビデオで記憶されている方も多と思われるが、津波は壁のようになって押し寄せてきた。この様な波を段波（ボア）というが、この成因も津波の速度が $\sqrt{gh}$ であることによる。いま、水深10 mと200 mの所に最大振幅2 mの津波が来たとしよう、それぞれ波の山と谷での速度の比は

$$\sqrt{9.8 \times 12} / \sqrt{9.8 \times 10} = 1.095$$

$$\sqrt{9.8 \times 202} / \sqrt{9.8 \times 200} = 1.005$$

となり水深の浅いところほど波の山が谷に追いつきやすいことがわかる。波の形は段々と前方にとがってきて波高を増し、壁のようになる。

また、 $\sqrt{gh}$ という速度は、太平洋の平均水深4000 mでは、約710 km/hにもなり、1964年のチリ津波が約1日で日本に來襲したことでわかるように非常に速い速度である。

更に、津波の周期は10分から数10分程度のものがほとんどであるが、これは湾の固有周期（湾の大きさによって差はあるが、10分から数10分程度のものが多い）と合っていて、共鳴が起こり、津波が増幅する可能性がある。先に述べた、浅海域での波の高まりと、この効果の為、津（港の意）で目だつ波であるので、古来より津波といい、今や国際語となっている。

もう一つ、風呂で天井からしずくが落ちてきても湯舟の中の足にはその衝撃は伝わらない。これはしずくの落下によってできた波の波長が水深に比して短いためである。津波は長波であるので海中の水は底まで表面と同じ速度で動き、底質を巻き上げながらはいあがって来る。ヘドロ等を考えればよいのであるが、不衛生窮まりなく、津波が去った後にも問題を残す。

まとめると、津波は長波であるが故に、ほとんど全ての成分波が一緒にしかも速く伝わり、海岸付近で増幅され被害をもたらすというわけである。

高潮は津波と異なりその原因は、台風などの気象じょう乱である。理論的には1mbの気圧低下で1 cm海面が盛り上がる。じっさいには、風によるふきよせにより1.1 cm程度になる。高潮はじょう乱源が移動するためその進路、速度によって大きく影響を受ける。長波の伝わる速度は、水深の浅い所では、台風の数と同程度になる。防災センター設立の原因である、伊勢湾台風を引き出すまでもなく、津波が外海に面したスケールの小さな湾、例えば三陸海岸等で大きくなるのに対し、高

潮は大阪湾、伊勢湾等スケールの大きな水深の浅い湾で発達する。

以上のような事実から、津波・高潮の災害に最も影響のある沿岸域での挙動に焦点をあて、以下の研究を行った。

1. 波浪・高潮・津波、および海洋内部波の研究。
(昭和45-46年度：経常研究)
2. 東京湾・相模湾を中心とした津波・長波の研究。
(昭和49年度：経常研究)
3. 伊豆半島沖地震の総合研究、津波の伝播に関する研究。
(昭和49年度)
4. 波力・内部波・高潮に関する研究。
(昭和50年度：経常研究)

相模湾は、遠浅、緩深、急深の変化に富んだ海底地形、また、リアス式海岸、外海に開いた湾等、日本沿岸に見られる典型的な海底地形、海岸地形を一つの湾で有している。この湾に於ける研究成果はかなりの普遍性を持ち日本全国に適用できる。相模湾の中心、平塚に研究・観測の拠点を築いたことは、昨今の東海地震説等を考えると、先見の明をうかがわせる。

特に、「伊豆半島沖地震の総合研究、津波の伝播に関する研究」では、伊豆半島沖地震(1974.

5. 9 M=6.9)の際に平塚沖観測塔で捉えられた記録の解析から、伊豆半島のかげになっている波源域からの波が、海岸での傾斜地形によって捕捉されるエッジ波として伝わる可能性を示した。エッジ波の伝わる速度は直接海の深い所を伝わってくる津波の速度より小さい。これは、よくいわれるような、「津波は最初の波が最大ではなく一番目、三番目の波の方がおおきい場合がある」という知見を裏打ちするものである。また、計算機が発達した現在、計算格子を小さく取ればいくらでも津波は正確に計算できると錯覚しがちである。この研究は、非分散の長波のみを考えていたのでは自ずと限界があることを示した点で先駆的なものであり、この問題は現在でも解決されていない。

6.2 津波・高潮災害に関する調査研究の現状

最近の十年間における研究テーマを以下に示す。

(1) 経常研究

- (ア) 津波・高潮の発生、伝播に関する研究。
(昭和51-53年度)

- (イ) 津波の発生・伝播、および沿岸遡上の研究。
(昭和54-59年度)
- (ウ) 沿岸海況変動の予測手法に関する研究。
(昭和54-58年度)
- (エ) 古地震・古津波の史料地震学的研究。
(昭和60-61年度)
- (オ) 津波の伝播、および沿岸遡上の研究。
(昭和60-62年度)
- (2) 特別研究促進調整費による研究。

- (ア) 「相模湾における長周期波に関する総合研究」のうち「浅海域における長周期波の変形過程の研究」(昭和50-52年度)
- (イ) 「東海地震の地震予知に関する総合研究」のうち「歴史津波に関する研究」(昭和52-53年度)
- (3) 「昭和58年(1983年)日本海中部地震に関する緊急研究」のうち「津波の伝播に関する研究」

以上は次のように分類できる。

- (1) 歴史史料に基づく古地震、古津波の研究。
- (2) 野外観測・理論・室内実験・数値計算等による津波・高潮の発生、伝播、沿岸遡上の研究。
- (3) リモートセンシング技術による沿岸災害の広域的かつ継続的観測手法の開発研究。

そして上記の三つの応用例として

- (4) 日本海中部地震津波等実際の津波に関する研究。

が挙げられる。

6.2.1 古地震、古津波の研究

津波の原因となる地震は同じ場所で繰り返し起こる。しかしながら被害を与えるような津波を発生する大きな地震は滅多に起こるものではないので基礎となるべきデータがすくない。リターンピリオドは研究者の寿命より長い。古記録に頼らざるを得ないのである。東海地震説が古文書の研究にその端を発していることはよく知られた事実である。また最近の伊豆大島三原山の噴火でも古記録の重要性は示された。古記録から客観的にみて正しい事実を引き出すのは研究者の裁量にかかっている。しかし、どの研究者でも古文書が読める訳ではない。そこで、古地震・古津波の記録を収集し整理して、研究者の使いやすい形で刊行する

ことが必要となってくる。

この方面の研究では、武者金吉編「増訂大日本地震史料」，「日本地震史料」，東京大学地震研究所編「新収日本地震史料」がある。

当センターでは東海道および南海道の史料を中心に収集，整理し以下の資料を刊行した。

- ・東海地方地震津波史料（Ⅰ・上巻）
—静岡県・山梨県・長野県南部編—
（防災科学技術研究資料，35，昭和54）
- ・東海地方地震津波史料（Ⅰ・下巻）
—静岡県・山梨県・長野県南部編—
（防災科学技術研究資料，36，昭和54）
- ・地震津波補遺史料
（防災科学技術研究資料，55，昭和55）
- ・高知県地震津波史料
（防災科学技術研究資料，60，昭和56）
- ・紀伊半島地震津波史料
（防災科学技術研究資料，60，昭和56）
- ・東海地方地震津波史料（Ⅱ）
—静岡県・山梨県・長野県南部編—
（防災科学技術研究資料，77，昭和58）

これらの資料の研究者間での評価は高く，地震については，断層活動・隆起陥没・前兆現象等に関する知識が集積され，地震予知，地震防災対策に役立っている。

津波については，

- (1) 津波を真正面にうける沿岸より，津波波源からみて，「影」の場所になるはずの島や半島の後面でむしろ津波が高くなることがある。
 - (2) きわめて近接した沿岸の2点A，BでAでは津波が非常に高くなったのにBではほとんど被害がなかった。
 - (3) 津波の到達波高はさして高くないのに，海水が速い流速を持っていたため，家屋流失，人身被害の大きい場合があること。
 - (4) 津波が沿岸に來襲するよりも時間的に速く地震が伝わると，海上の船舶がそれを感じていること。
- 等の特異な現象の記述を発見した。

(1) については，津波の数値計算等をする場合には，エッジ波を考えにいれなくてはならないこと。

(2) については，湾の固有周期と津波の固有周期の関係，あるいは湾の水系のモードと波高の関係が密接であること。

(3) については，被害という点からみても問題なのは波高でなくむしろ流速であること。

(4) については，波高の予測手法に海中の音波を測定する方法が使えること。

等の，重要な知見がえられた。

また，歴史津波の研究は古文書に頼らざるを得ないのであるけれども，古文書各々の性質や信頼性にかんがりのばらつきが有りそれが歴史津波研究の制約になっている。そこで何か普遍的な「ものさし」或は「検証」が必要となってくる。

前者については，その当時の寺社の過去帳が有効なものさしになりうると考え，神奈川県下の全ての寺院にアンケート調査を行った。この調査から，元禄地震（1703.12.31， $M=8.2$ ）の起きた日の死者が記録された過去帳を持つ寺院の分布が明らかになり，被害がなかったのか，或は単に被害の記録である古文書が見つからないだけなのかという判断が合理的に下せることになった。

後者については，ある地域に限っての精密な測量などが考えられる。明治三陸津波（1896.6.15， $M=8.4$ ）の際に岩手県下閉伊郡田野畑村羅賀地区に津波石と呼ばれるものが打ち上げられたという情報があり，測量を実行した。一度目の測量では，ハンドレベルという精度的に精密でないものを使わざるを得なかったが，二度目の測量ではオートレベルを用いて測量を実行した。その結果，津波石の標高は，T. P. 上24.0 mとなった。

6.2.2 津波・高潮の発生伝播，沿岸遡上に関する研究

津波の研究では，その発生，伝播，沿岸域での変形，遡上に関しての断片的な知識を集大成して，確度の高い津波予測方法を確立することが求められていた。それまでの研究における欠落点としては，

- ・浅海域における水系の共振各モードへのエネルギーの分配率の推定
- ・外洋における挙動
- ・長波に対する水底の影響

といった問題が早急に解決されるべきものであった。

当センターでは，特別研究促進調整費による研究。「相模湾における長周期波に関する総合研究」のうち「浅海域における長周期波の変形過程の研究

究」(昭和50-52年度)において、図6.1に示す、相模湾内6箇所の各地点における長周期波(周期1分-100分)を観測し、沿岸浅海域での長周期波のスペクトルの構造、各成分波の推移、各地点間での挙動の相違等を中心に解析した。

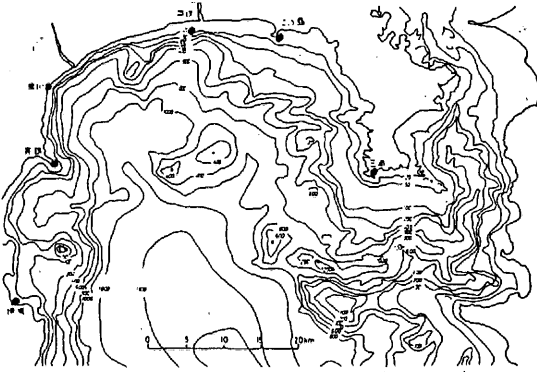


図6.1 長周期波計を設置した海域に等深線を入れたもの

また、外洋における挙動については、1960. 5. 24のチリ津波のデータをはじめとする過去の津波記録を解析し、遠地津波の伝播時には、海山のような地形が津波の伝播にどのような影響を及ぼすかについての理論的考察を行った。その結果をチリ津波に適用すると、日本に達するまでに40%のエネルギーが失われることが判明した。(昭和51年度経常研究)

昭和51年度経常研究においては、陸棚斜面による長周期波の部分反射の問題を取り扱い、グリーンの公式として知られている、津波の簡単な波高見積の公式の補正をした。

数値計算の方法について、従来の差分法ではなく、幾何光学的手法を使ったプログラムを作成した。この方法は、津波の波面ではなく波線を追跡するものであり、海底地形による津波の進路の屈折等を解析するのに有用である。

6.2.3 リモートセンシング技術等を利用した沿岸災害の観測手法の研究

6.2.1でも述べたとおり、被害があって、記録が残され、記録が収集される、このすべての条件が満たされて始めて被害があったことがわかる。津波・高潮等は、ある一点にのみおこるというも

のではなく、面的な災害であるので、たまたまそこに人がいなかったから記録が残らない、ということでは、研究の発展はのぞめない。これらの発生機構と物理量の時間的・空間的な変動または伝搬過程を知る事によって初めて、沿岸域の自然災害現象を説明することが出来る。過去の災害については、何らかの方法で合理的判断を示すしかないのであるが、衛星等によるリモートセンシング技術によりこの問題は解決することができる。

当センターでは、「沿岸海況変動の予測手法に関する研究」(昭和54-56年度：経常研究)において、「高潮・高波・異常潮位など顕著な沿岸変動の研究」を一項目としてとりあげた。

台風による高潮に関しては、1979年20号台風に伴う高潮・高波の被害状況および潮位異常のデータをまとめ、第13回UJNR(天然資源の開発に関する日米会議)において発表した。

津波による、沿岸遡上域に関しては、基本的な知見を確立し、日本海中部地震津波のときに応用した。これについては後述する。

6.2.4 日本海中部地震津波等実際の津波に対する応用例

(1) 日本海中部地震津波

1983. 5. 26. 12時00分頃震源を秋田県西部海域に持つ、 $M=7.7$ の日本海中部地震が発生し、死者104名をはじめとする大きな被害がでた。死者104名のうち100名は津波による死者である。当センターでは、実地観測・数値計算・リモートセンシング利用の津波浸水域の推定等いろいろな方面からの研究・調査を行った。

(ア) 野外調査

津波の痕跡・証言に基づく津波打上げ高の調査は、津波発生直後から、国立防災科学技術センター(1984)、気象庁(1984)、港湾技術研究所(1983)、あるいは各大学の研究者たちによって実施され、各々特色のある報告書が発行された。これらの各報告に記された津波高さの測定点の総数は約600ヶ所にのぼる。その範囲は、北は北海道の礼文島の北端スコトン岬から、南は九州・対馬の厳原町までにおよんでいて、調査の空白区間がない。

これらの資料によって、津波高さの総括的な分布図を図6.2に示す。震源に近い秋田県北部と青

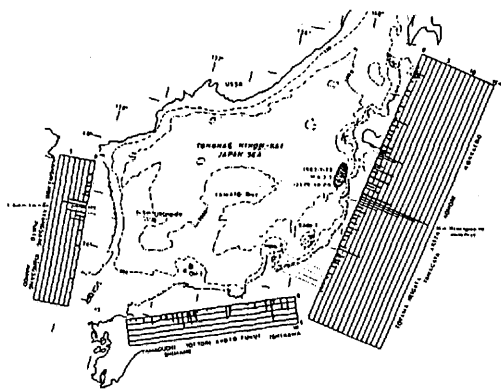


図 6.2 1983年5月26日の日本海中部地震津波の
津波高分布の総括図

森島の海岸で津波高分布の著しい山がみられるが、これ以外に、震央から離れた場所にも、津波高の大きな場所があちこちに現れている。北海道積丹半島、佐渡島北端、能登半島外海側、奥丹後半島、隠岐諸島、島根半島などで、そのような遠方の津波高の大きな場所は、「ある特定の狭い区間内だけで集中的に高い津波が記録され、その区間に隣接する海岸ではさほど津波は高くない」というような、現れかたをしている例が多いことがわかった。

日本海全体を5 km × 5 kmの間隔の計算格子で覆って、津波の伝播の数値計算を行った。地震に伴う海底変位としては、相田(1984)によるものを仮定した。

数値計算は大変良く実際の津波高の分布パターンを再現した。ことに、この津波の被害を生じた場所と、この計算による計算津波高40 cm以上が算出された場所とが大変良く一致していることが指摘できる。

(1) 大和堆の効果

日本海の中央部には「大和堆」と呼ばれる、テーブル状の著しい浅海域がある。東西約300 km、南北約150 kmで、一番浅いところでは水深は300 m以下となる。この海域の周辺は深さ約3,000 mの深海域である。さて、津波高の実測分布図である図6.2、さらに数値計算結果の図6.3をみると、韓国の臨院付近の分布の山は（あるいはさらに隠岐諸島、島根半島の分布の山も）、ちょうどこの大和堆をはさんで震源の対称点に位置する

ように見える。してみると、韓国の臨院付近で津波が高くなったのは、大和堆の「レンズ効果」によるのではないかと考えたくなる。この考えが正しいかどうかを検証するため、大和堆付近の海域を平らな深さ3,000 mの海域に置換えて、数値計算を試みた。結果は図6.4の通り、朝鮮半島

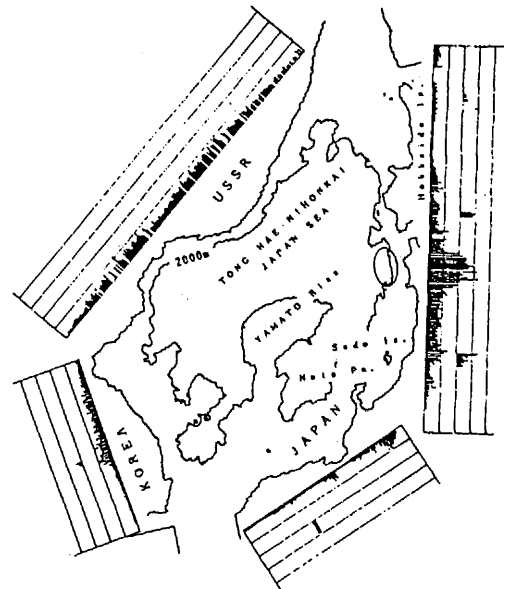


図 6.3 数値計算結果。ひと目盛り50 cm。利尻島、礼文島、奥尻島、佐渡島、隠岐諸島、およびウルルン島のデータは中段にある。

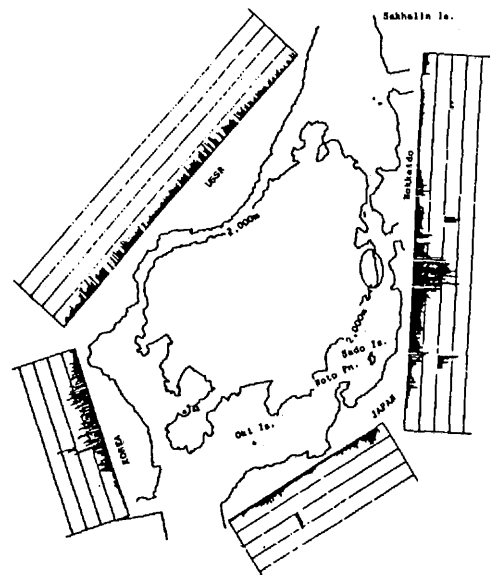


図 6.4 大和堆が無い場合の日本海中部地震津波

と山陰地方の津波高は大和堆がない場合よりもむしろ高くなっている。「レンズ効果」という言葉を、定量的な検証なしに安易に口にすべきではないことが分かる。

(ウ) 震源域内での海底隆起分布を単純化した場合

日本海中部地震・津波の波源域楕円内で、相田モデルではなく、中心で最も大きく（そこでの隆起量を ζ_{max} とする）周囲に行くにつれて放物線的に隆起量（ ζ ）が減少するような式で表される単純な海底変位パターンを与えて計算をしてみた。

波源にごく近いところ以外では、それぞれ似た分布パターンを示しており、波源に単純な海底隆起モデルを想定したもので、じゅうぶん現実に対応付けられるものを与えることができることを示している。

日本海に起きた三回の地震津波について、浸水高の分布と数値計算結果について述べてきたが、つぎのような点を結論することができるであろう。

日本海全域の水深の5 km間隔のデータ・ファイルを製作したので、これを用いて日本海で過去に起きた主な地震津波について数値伝播実験を行い、昭和58年の日本海沖中部地震の津波の波形は、秋田県北部西方沖合の南北約140 km、東西約80 kmの大きさの楕円形であって、南北に並んだ2枚の断層間のすべりによる海底の沿直変動によるものであった。

数値計算はケース1として、この断層モデルによる海底変動を初期条件として行った。ケース2として、この楕円形海域を中央部ほど隆起量が大

い単純な一山形の沿直変動を与えて行ってみた。震源に近い秋田県、青森県などの沿岸では、ケース1では、実際によく合う結果が得られた。ケース2ではよい結果は得られなかった。これに対して、佐渡ヶ島、山陰地方、韓国東海岸などの遠方では両ケースとも実際によく合う結果が得られ、震源から遠く離れた海岸での津波高の分布は、たとえ正確な断層モデル解がわからなくても、震源の位置と概略の形状がわかれば計算できることが示された。

i 日本海東北部で地震津波が起きたとき、その震源の位置が多少変わっても、震源から遠いある特定の海岸にいつも津波が高く現れる場所がある。そのような場所として、佐渡ヶ島北部、能登半島

の外洋側、隠岐諸島、島根半島、韓国江原道南部等を挙げることができる。

ii そのような場所というのは、震源の方向に突き出した岬状の海岸線の所が多い。

iii 現実の津波の浸水高の分布は、200m以浅の海域を200m深の海に置換えた5 km×5 km程度の格子間隔の海底モデルによる数値計算結果で、ほぼ分布のパターンは説明される。さらに、Shuto (1972) 公式等による斜面での増幅効果を組み合わせれば、量的にもより良く近似される。

iv 震源に極めて近い海岸をのぞいて、やや遠方の津波高の分布のパターンは、津波波源域内部での海底隆起・陥没の分布状況が現実に近いモデルを与えたときはもちろん、図6.5に示すような簡単なモデルを初期変位としたときでも、かなり良い計算結果が得られる。

v 定量的な吟味なしに、浅い海域による「レンズ効果」という解釈を与えるのは危険である。

ここに結論として得られた知識はどれも、日本海沿岸各地の津波対策に有益であろう。

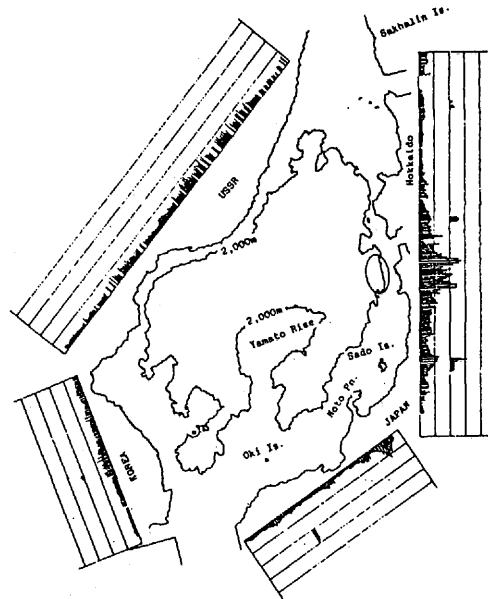


図6.5 単純化した波源モデルによる日本海中部地震津波の数値計算結果

6.3 二つの側面からみた将来の津波研究

津波の研究には二つの側面がある。一つは防災科学技術としてのそれであり、これには津波の波

高の予測手法・危険度予測等が含まれる、もう一つは、海洋学に代表される地球流体力学と、地震学に代表される固体地球物理学との境界学問分野としての津波学である。この二つは相補的であり分けて考えるべきものではないが、便宜上それぞれについてのべてみる。

6.3.1 防災科学技術としての津波研究

防災という観点から津波の研究に課せられた課題は、いかに被害を小さくするかというこの一点にある。この姿勢は、当センター設立の当初より今まで変わることがない。そのためのアプローチとして、歴史津波の研究を初めとする津波研究があったわけである。これからどのような研究を計画し当初の目的を達成すればよいか考えてみることにする。

6.3.2 歴史津波の研究

前章にも述べたが、被害を与えるような津波の事例は少なくデータとして古記録は有用である。古記録は被害の記録であり、都市災害が問題にされている現代にも通用する部分がある。被害を与えるのは、「津波の波高よりむしろ流速である」という事実の発見はそれを端的に示している。

しかしながら未発見の史料は膨大であり収集の作業が完結することは有り得ない。その一方で、史料の信頼性の普遍的基準作りをしなくてはならない。

また、津波の災害は、面的なものであり古記録はその面的な基準のもとでその信頼性の評価を受けなくてはならない。寺院へのアンケート調査はその一例である。他に考えられるものとして、地域を限定した、集中的古文書収集とタイアップした実地測量がある。明治29年の三陸大津波を始め、目撃者、痕跡などの貴重なデータが風化しつつある今、早急に実施すべき課題である。

「津波石」のような証拠にしても、年代測定など別の方法で検証できることが望ましい。この方面の研究では、1771年の八重山地震津波のときに打ち上げられたとされている「津波石」の年代測定をした、加藤（1986）、中田など（1986）がある。加藤は「津波石」中のサンゴに注目しサンゴの方解石化の度合によってこの「津波石」が海洋起源のものか、あるいは転石かを区別したが、詳

しい年代測定は行っていない。中田らは ^{14}C 法による年代測定を同じ資料に対して行っている。しかし、 ^{14}C の半減期が長すぎるので誤差が大きく、津波の常襲地帯に対しては使えない。100年弱の繰り返し周期をもつ津波の「証拠」の年代測定、或はその起源の決定には、サンゴの様な生物起源のものが有用であると思われるが、どの様なものがあるかすら判っていない。生物学・地質学など別の分野からのアプローチが必要である。

6.3.3 数値シミュレーション

日本は四方を海に囲まれた島国であり、海岸域、海洋の開発利用の必要性は言うまでもない。現在でも、工業地帯、人口の沿岸域の集中は目を見張るものがあるが、この傾向はこれからも衰えることはないであろう。原子力発電所をはじめとする各種工業施設、高層住宅、レジャー施設の設計、環境のアセスメントなどの基礎資料として、過去に起こった津波が現在の地形に襲ってきたときどうなるか、波高・流速などの細かいスケールでの予測が必要となってくる。

計算機の能力の発達により、計算格子をかなり細かく取ったリアルタイムでの数値シミュレーション、或は地球規模での遠地津波のシミュレーションも可能となってきた。しかしながら、数値シミュレーションはあくまでも近似であり、基礎方程式を立てるときに、どの様な時間的・空間的スケールの現象を対象と定めるかによって、ある程度計算結果も限定されてしまう。いくら計算格子を細かく取ったからといって幾らでも精度良く津波が予測できるということは考えられない。このことについては前にも述べた。これからの数値シミュレーションに課せられた課題は、どの様な現象を対象にすべきか（どの様な近似を用いるのが適切であるか）、そのアーキテクチャにあると思われる。

その意味に於て、歴史津波・流体力学などの研究から将来問題になるであろう項目を挙げることにする。

・エッジ波の問題

このことについては前にも述べているので詳しい説明は省略する。

・浅海域での非線形効果、長波近似の妥当性の問題

今までの津波のシミュレーションはほとんどが線形長波の近似のもとで行われている。実際、断層モデルから線形長波近似で求めた津波波形は、現実とおおよそはあっている。しかしながら、浅海域では、波高が大きくなっていく或は波長が詰まってくるなどの効果により、各成分波間の移行、或は鉛直方向の速度が無視できなくなってくる。より正確なシミュレーションの為に考えなくてはならない問題である。

津波のシミュレーションは「大体はあっている」の段階から「誤差何%の範囲であっている」の段階に進まなくてはならないのである。

6.3.4 海震の研究

津波を伴う地震では、津波による被害の方が地震より大きいことは日本ではよく知られた事実である。そのため、従来の方式より、細かいスケールでの津波の波高・流速・到達時刻等の予測手法の開発が望まれている。

津波が外洋で発生してから沿岸域で被害を与えるまでには、伝播、沿岸域での変形・遡上という相がある。計算機の能力の向上により、リアルタイムでの津波の数値シミュレーションも可能であり、今までの数値計算に欠けていたものも解明されつつある。また、どのような津波が被害を与えるかということも、歴史津波などの研究から判ってきている。津波の予測に必要なが残っているのは、津波の初期波形をいかに早く知るかということのみである。

ここでは、海震を観測することにより、津波の初期波形を確定する方法について述べている。

海震の原因は、海中を伝わる地震波であると考えられてきた。海中の地震波即ち音波であるが、音波発生のもう一つのメカニズムとして海底地殻の垂直変動による海水の伸びちじみが粗密波（音波）として海中を伝わる可能性を考えた、これについては前章に述べてある。これら二つのメカニズムによって実際の海震は起こっていると考えられる。

そこで、海中の数カ所に設けられたハイドロホンでこの音波を定量的に計測することにより、まず、三角法により発震源の位置が確定できる。次に、音波の強度が距離の関数であるので、初期の垂直変動量がわかる。

この方法の利点は、

- (1) 地震波のように、地殻の速度構造を仮定する必要がないので、位置の決定精度がよいこと。
- (2) 地震波の解析から、地殻の垂直変動量を求めるには、表面波記録からのインバージョンを用いる方法があるが、時間がかかることが難点である。この方法では、垂直変動量がそのまま、音波の強度として観測されるので時間的に早く求まり、かつあいまいさが少ないこと等である（図 6.6）。

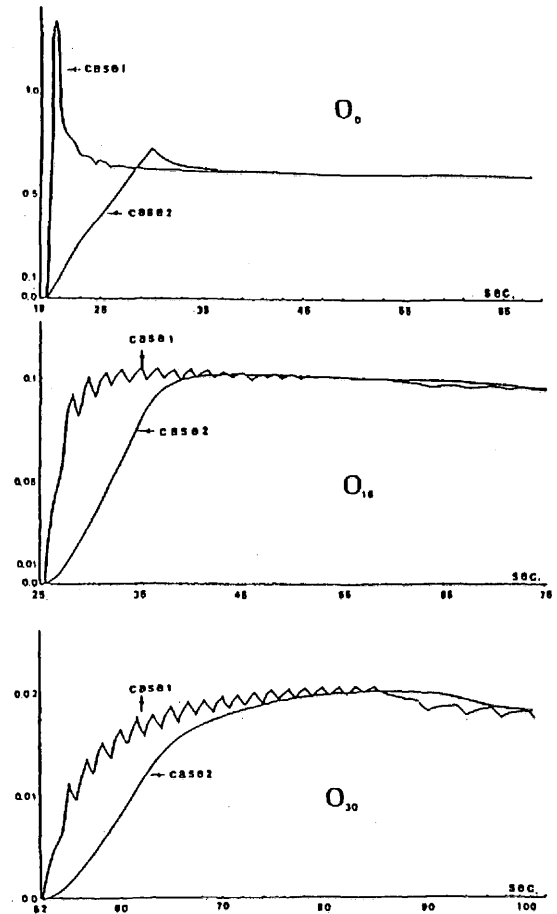


図 6.6 安政東海地震に伴う海震伝播の理論計算結果

リアルタイムでの津波予測も可能であるが、大津波を起すような地震の発生源は限定されているので、あらかじめ、モデル実験をしておくことにより、津波波源から沿岸までの津波の変位を追跡することができる。このような下準備さえしてお

けば、ハイドロホンの比較的簡単な観測により、更に短時間で津波の予測が可能である。

海中におけるノイズの問題、海中密度構造の変化による音速の変化、発音源（発信源）の二次元性など解決しなくてはならない問題も多いが、考えてよい一案であると思われる。

6.3.5 海中地滑りなど非断層性地殻変動による津波の発生効率の研究

これまでの話は、地震による断層運動をその原因とする津波についてであった。しかし、1883年のクラカトア火山の噴火、日本では1792年の眉山の崩壊による津波などに代表される火山性の津波、1958年のアラスカリツヤ湾の地滑りの水表面突入による津波、或は海底地滑りによる津波など非断層性の津波も存在する。特に海底地滑りによる津波は、地震、火山爆発などのように、津波の前兆現象ともいふべきショックが感じられない場合が多いので、防災上の観点からこの研究を進める必要がある。

日本では、1896年の三陸大津波、或は1946年のアリューシャン津波は地震の規模の割には津波の規模が大きいことで知られている。この原因としては、これらの地震はいわゆる「ぬるぬる地震」であり、津波の発生に効率的な長周期成分の卓越した地震であったという説が一般的である。しかしながらその一方で、津波の原因を地震によって誘起された海底の大規模な地滑りであるとする考えもある。この様な曖昧さの源は、どの程度の大きさのものが、どの程度の速度で動いたらどの程度の津波が生ずるかといったことが、はっきりと判っていないというところにある。

数値シミュレーション、室内実験などから地滑りによる津波の効率を求めること。歴史津波の研究から過去の津波の内地滑りをその原因とする津波を洗い出すこと。海底斜面の急峻なところなど危険地域を特定すること。海底の探査によって地滑りの証拠を発見すること。やるべきことは山積している。

6.3.6 境界領域の学問としての津波学

ここでは津波を、地殻・海水の情報を伝えて来る波動としてとらえる。

固体地球物理の方面では、水系と地殻の時間的

・空間的な相違から、地震波の観測のみではとらええなかった情報が津波の観測からとらえることができる。例えば、地震の直前のプレスリップ、海底の地滑り、プレートのゆっくりとした動き等である。検潮測量により、地殻の長期変動を求めているのは、その一例である。

また、地球流体力学の立場からは、日本海のような大きな振動系から沿岸の港の振動系のエネルギーの移行の問題、波が陸上へ遡り上がる際の先端条件の問題等がある。

振動系のエネルギーの移行に関しては、1986年春の海洋学会において、熱力学でいうところのエントロピーのような量を津波に関して定義し、この量により津波のエネルギーの時間的変化を表現する試みを発表した。が、まだ未完成である。

これらの興味ある問題に対し、一番のネックとなってくるのが、データレコーダーとしての検潮所の問題である。検潮所は、国土地理院・気象庁・海上保安庁水路部・各地方自治体の港湾事務所等が管理している。その対象としている現象の時間・空間スケールが異なるので、フロート式、水圧式など検潮方式の相違をはじめとして、いろいろな点で方式が違っており均質なデータはとれない。各検潮所のフィルター特性を明らかにできたととしても、導波管の生物付着等時間的に変化する部分も多く、長周期の地殻変動はともかく質のよいデータをとるのは難しい。地震計のようなネットワークを作るのは今の段階では無理であろう。しかし、時間がかかるがやりとげなければならない。

そこで今の段階で考えられるのが、外洋での津波観測である。より純粋な形でデータがとれるので数もそれ程はいらない。現在は気象庁の深海津波計が2ヶ所にあるが、方式として水晶の発振をカウントする方法をとっていて、温度変化に弱い点がある。スクリップス海洋研究所の John Fillox 等が開発したブルドン管（バネの伸び縮みで鏡を回転させ光で検出する）等が有望であると思われるが、新しい測器の開発にも着手しなくてはならない。

7. 地震・火山防災（予知を含む） 研究関連の海洋研究

7.1 海底地震観測

7.1.1 はじめに

我が国では当センターを含めて多くの機関が、地震予知の実現をめざして観測・研究を実施している。しかしながら現在のところ、観測の大部分は陸上におけるものであり、海における観測は、未だ非常に手薄である。海底における自然条件は、高水圧等のため厳しいものがあるが、エレクトロニクスを始めとする高度技術の発達著しく、海底観測の進展の条件が整いつつある。

我が国は、有史以来海で起きる巨大（又は大）地震によって、甚大な被害を受けて来た。明治以後だけでも、三陸沖地震（1896年：M 7.1，死者27,122人）、関東地震（1923年：M 7.9，死者99,331人）、三陸地震（1933年：M 8.3，死者3,008人）、東南海地震（1944年：M 8.0，死者998人）、南海地震（1946年：M 8.1，死者1,330人）、十勝沖地震（1952年：M 8.1，死者28人）、1968年十勝沖地震（1968年：M 7.9，死者49人）とはぼ10年に1回の割合で発生を見ている。

これ等の海で発生する巨大地震を予知する方法を作り上げるには、どうしても地震の発生する海溝部周辺等で地殻変動や地震活動を観測し、地震準備期間にどのような変化があり、地震の直前には、どのような前兆現象があるかを調査・研究しておく必要がある。

我が国の地震予知計画においても、第4次計画以後海底観測を行うことが勧告され、当センターは、自己浮上式海底地震計をより定常的な観測に近づける為の開発と海底地震観測を行うことになっている。記録内蔵式の自己浮上式海底地震計の最も大きな特徴は、何時でも、どこでも、どのような配置でも、観測を行える機動性にあり、用途としては、陸上等の既存観測網からはよくわからない海域で地震活動を詳しく調べ、その場所のプレートの内部変形や相互作用あるいは、地殻の構造を明らかにすることである。

7.1.2 開発した自己浮上式海底地震計

我が国における多年にわたる海底地震計測の経験をもとに、開発した自己浮上式海底地震計(CD-POBS II α ，図7.1)の特徴は、

- (イ) 海底における計測部がコンパクトになっていて底層流の影響を受けにくい
- (ロ) 地震動をできるだけ忠実に記録する、
- (ハ) 周波数・振幅範囲が広く、記録時間を1ヶ月以上の長期にし、

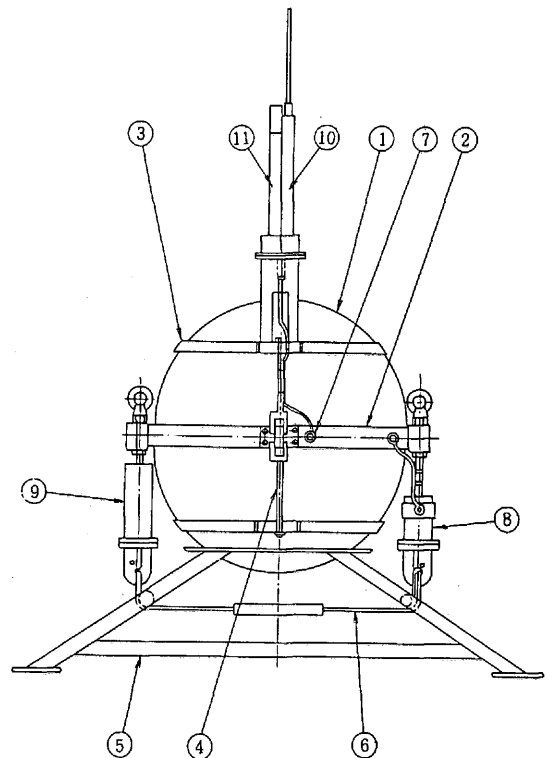


図7.1 自己浮上式海底地震計

- ①耐圧容器 ②ミッドリング ③取付棒 ④耐圧容器締め具 ⑤アンカー ⑥固定用ワイヤー ⑦水中コネクター ⑧超音波起動式切離し装置 ⑨タイマー内蔵切離し装置 ⑩ラジオビーコン ⑪フラッシュライト

(ニ) 計測・回収の面で高い信頼性を有し、
(ホ) 地震計の海底における位置を決定でき、海中においても追跡が出来る。
である。

機械式ジンバルに搭載された3成分の換震計からの信号は、それぞれ3段階に増幅され、各増幅器出力信号は14チャンネルのオープンリール式の長期連続記録テープレコーダに記録される。上下動成分の信号のみは、フィルターによりやや長い周期の成分が抜き出され、2段階に増幅されて記録計に入る。内部の時刻装置では、水晶振動子は恒温槽に入って安定度を高め、1秒ごとの時刻信号には、時刻コード機器番号が重畳されている。この内部時計は、耐圧容器のコネクターを通して、外部から標準時刻信号に同期される。

地震計の保護は、設置・回収時に作動するジンバルクランプと振子クランプにより行われており、50Gまでの衝撃に耐えるようになっている。方位角は、方位計により測定し、記録計の1チャンネルに記録する。電源供給は各部に対し出来るだけ独立となっており、リチウム電池・ニッケルカドミウム電池を用途に分けて用いている。切離し装置は、確実な回収の為2種類あり、そのうちいづれか一つでも作動すれば、耐圧容器が浮上する仕組みになっている。切離しの起動指令は、船上からの超音波指令によるもの、切離し装置内のタイマーによるもの、内部時計によるものの3種類である。超音波の到達時間を使って、船からの距離または、海底地震計から応答超音波信号の方位角を測定して、海底地震計の位置を決め、震源精度の向上・確実な回収を計っている。

船上装置としては、標準時刻を受信するか高安定度のルビジュウム発信器を用いた時刻較正器と、超音波位置検知遠隔制御装置がある。超音波位置検知装置は最大20個の海底地震計を呼び出せるようになっており、指令の種類は呼び出し以外に切離し指令・位置計測（距離及び方位測定）がある。

簡易型自己浮上式地震計(FEU-I型、図7.2)は、昭和56年度より開発に取り組み、多点で観測が出来ることを重点に置き、高性能型(CDPOBS IIa)の開発・観測の成果を十分取り入れ、出来るだけ簡易化を計ったものである。換震計は2成分、ジンバルは機械式の代りに粘性の高いシリコンオイルに浸す方式とし、切り離し機構はステンレス

線を海水中で電触させて溶かす方式のものを1つ、記録はカセット式の4cHのものを用い、耐圧容器の材質はアルミニウム合金高性能型と同じであるが、大きさは55 cmの外径と一回り以上小さくなって短時間に設置・回収が可能ようになってきている。また船上での機器のチェックを容易化する為、船上操作盤を備えて迅速かつ確実な作業の実施が行えるようにしている。

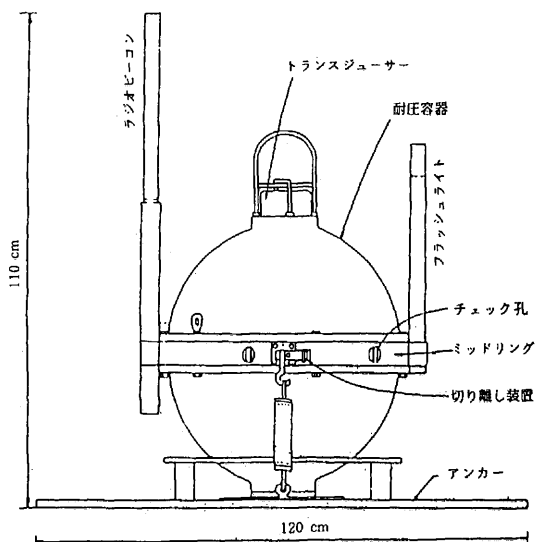


図7.2 簡易型自己浮上式地震計

7.1.3 観測作業

自己浮上式海底地震計を用いた群列観測を実施する上での検討項目としては、

- (1) 観測の具体的目的を明らかにして海域の選定をすること、
- (2) 使用する機器等の限界の把握、
- (3) 海象・気象・海底地質・地形等の自然条件の把握、
- (4) 社会的環境あるいは制約、
- (5) 作業上の安全の保障

がある。これ等を総合的に考慮して、所期の目標を達成するようにする。

観測の工程の概要は、図7.3のとおりである。

7.1.4 データの再生・処理

海底地震計測の上で、特に直接記録の内蔵式の場合、データの再生・処理が大きな問題である。現在では、ハード、ソフトの両面の開発によって

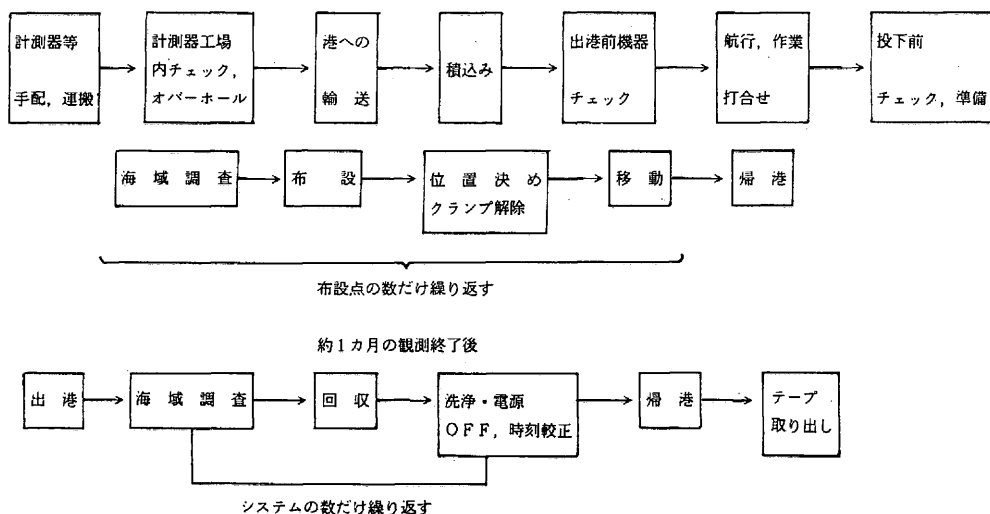


図 7.3 自己浮上式海底地震計観測作業工程図

ルーチ的に処理できる体制が整ったが、今後はイベント記録方式のものの開発を含めて高能率化を計る必要があろう。再生の作業を行うにあたっては、

- (1) モニター記録の作製→
- (2) 地震の記録されている時刻をイベントタイムとして読み取り→
- (3) データのD/A変換してMTテープに収録→
- (4) 各号機によるイベントを照合と、地震ごとのファイルの作製→
- (5) 到達波の強調処理を施した早送り可視記録の作製、の手順によっている。

7.1.5 観測

開発した海底地震計を用いて、昭和54年度より観測を実施して来ている。日本近海においては、観測強化地域に含まれている東海沖・相模沖・房総沖を選定し、プレート境界部において精度の高い地震活動の調査を行って、海底で発生する大(巨大)地震の長期・中期予知に役に立つ資料の収積を行っている。

例えば、昭和56年度の観測では、たまたま観測ネットの近くに発生した紀伊半島沖群発地震を詳細に解析することが出来、最大地震の前に地震前兆指標の有望なものと考えられているb値が小さくなったこと等を示すことが出来た。昭和58年、59年度の駿河トラフにおける群列観測では、駿河湾内では駿河断層を境に、北と南では地震の活動

度が明らかに違うこと、駿河トラフよりフィリピン海プレートがアジアプレートにもぐり込んでいることを示す地震活動の存在(図7.4)、駿河湾口周辺に同時多発の局所的群発活動が存在し、広域にわたる応力状態の変化を示唆する可能性があることを示すことが出来、東海大地震の震源域における地殻活動の特徴、今後とるべき有効な観測体制についての有益な知見を得ることが出来た。

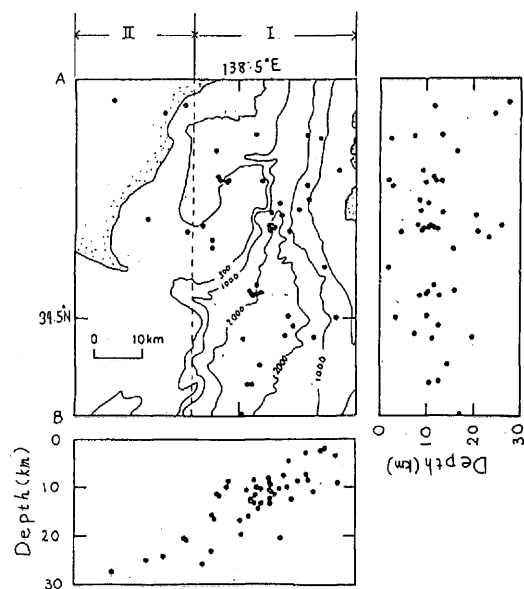


図 7.4 観測点補正値を考慮した震源分布 (1984年の観測)

また昭和60年度の南海トラフ駿河トラフ接合部付近の銭州海嶺海域における観測では陸上のネットと比べて約10倍の地震の震源を決定し、海嶺を境に地震活動に差があること、海底地形から推定された活断層に沿う地震活動が見当たらないこと、20 km以浅に地震がないことを明らかにし、地震の発震機構についてのデータも含めて、この周辺の地震活動は、フィリピン海プレートの折れ曲りを原因とする特徴的なものであろうと推論した。

昭和61年度における相模灘における観測は、フィリピン海プレート北端部におけるテクトクス・地震予知研究の面で注目されている海域である。データを解析して、4ヶ所における駿河湾におけると同じような同時多発群発地震活動の存在、川奈崎沖での地震活動現海底構造線との関係、1987年5月の地震活動と、新たな破壊域の形成との関連、伊豆大島付近の地震活動と伊豆大島近海地震（1978年）および1986年の三原山の噴火との関連等につき有益な知見を得た。

7.1.6 国際協同観測

昭和58年度より3年間にわたりオーストラリア・ニュージーランド・インドネシア等の西南太平洋の国々との国際協同観測を実施した。その研究では海溝型の巨大地震や火山噴火予知の手法の確立に有効な知見をうるため、海洋プレートの沈み込み帯や、湧き出し口等のプレート境界域の力学過程の解明を目的として、太平洋西南縁域に位置するニューブリテン海溝域・トンガ海溝域・スンダ海溝域を観測域とした海底地震観測を行ったものである（図7.5）。昭和58年度のニューブリテン海溝の北側に位置するビスマルク海における観測とデータの解析により、海洋底拡大の詳細な機構（図7.6）、昭和59年度のトンガ海溝の西側に位置するラウ海盆における観測ではやはり従来よくわかっていなかった海洋底拡大の機構、昭和60年度のスンダ海溝部における観測では、沈み込み様式とアクリシヨンプリズムでの地震活動について、陸上からの地震観測では見出せなかった詳細な機構を明らかにするという成果を得た。また、エアガンを用いて人工震源を用いた観測データの解析によって、地下深部の地震波速度構造を明らかにすることが出来、プレート境界域における造構運動の研究に役立つ資料を得た。これ等の研究

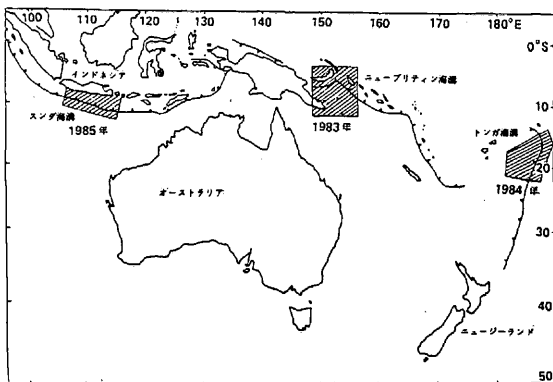


図7.5 国際協同観測による海底地震計設置場所

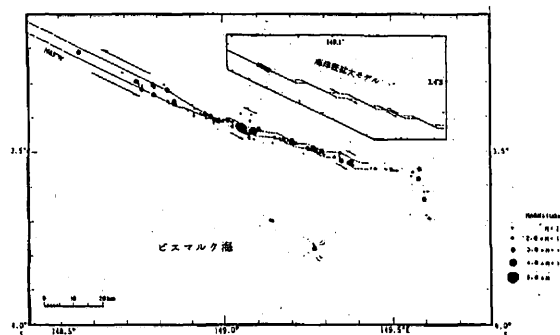


図7.6 ビスマルク海における海洋底拡大のようす

を通して海洋底下の地質・地球物理学的研究において、自己浮上式海底地震計を用いた地震観測の有効性と必要性を実証することが出来、今後この方面の研究において、精密地形調査、音波探査と並んで自己浮上式海底地震計による地震観測が大きな役割を果たして行けることを示した。

これ等の、研究上の成果と共に国際協力の間でも大きなものがあり、島弧・海溝系の研究の災害軽減施策における重要性と、国際的に我が国に強く期待されていることに鑑み、長期の展望を持ってこの種の研究を推し進めて行くべきである。観測後の解析を協同で実施することが協同観測を実りあるものにする一つの条件であるが、外国人研究者の招へい制度が整備され、今後交流を盛んにして地球科学研究の国際共同研究を充実する必要がある。

7.1.7 海底地震観測の将来

東海地方では、駿河湾周辺に大地震が何時起きても不思議でないとわれ、また神奈川県西部地

方には、M7クラスの地震の発生がそう遠くない将来に起きることも危惧されている。我々のグループでは、これ等の地震の予知研究に関連して駿河トラフ・南海トラフ・相模灘において自己浮上式海底地震計を用いた精度の高い海底地震観測を実施したところ、海底地震計を設置することにより、陸上のみからの観測網では検出出来ない特徴的な地震活動が存在し鮮明に捉えられることを実証した。ぜひこの海域にオンライン方式による海底地震観測ネットを布設し、陸上観測網と合わせて、地震活動の推移・地殻応力状態をくわしくモニターし、プレート境界の動きの異常をいち早くキャッチし前兆現象の捕捉が出来るようにしたいと考えている。

海底地震観測の主な手法は、ケーブル式、ブイ式、自己浮上式と3つのものがあり、これ等の特徴を生かして、観測研究を進めて行きたい。ケーブル式やブイ式は種々の根拠から、常時監視の必要のある海域に設置し、地殻活動の監視に使い、自己浮上式のものは、定期的なサーベイ観測や実験的・実証的な観測に使って行くべきである。これら3つの方式を有機的に組み合わせて、我々の目標とする海底で発生する大・巨大地震の予知手法の確立を行う必要がある。

今後は、現在の技術で可能な観測を進めるばかりでなく、地震予知事業を科学的な根拠に、より一層掘ったものにする為には、どのような技術が必要なのかを問い、その方面の技術開発を行うという姿勢もとって行きたいと思う。

現時点で最も信頼できるシステムを、世界地震観測ネット、過去の地震歴等の既存のデータから見て地震発生危険度の高いと思われる地域が環太平洋地震帯で何ヶ所か想定されている。これ等の地域の観測を国際協力により行い、前兆現象の収積を精力的に行い、災害軽減に貢献する方向を望みたい。

7.2 海底傾斜計観測

日本における被害地震の多くは、列島周辺の海溝やトラフ沿いに発生してきている。これらの地震の短期的予知を行うためには、震源に近い海底域において、地震や地殻変動の連続観測を行えば非常に有効である。ケーブル式の海底地震計は

気象庁によりすでに実用化されているが、海底での地殻変動観測用機器は、数年前の段階では何もなかった。そこで、まず海底傾斜計から開発を始めようと、昭和53年度から研究を行ってきた。

海底傾斜計で最も重要なことは、その海底への設置方式である。海底に基盤まで達するボーリングを行い、その孔底部に、傾斜計を設置すれば問題はないであろうが、大きな費用がかかるし、また失敗の危険性も高い。そこで、より簡便・確実なものとして、海底面自由設置や、海底浅部埋設の方式について、これらが可能であるかどうかについて試験観測を行うこととした。

製作した海底傾斜計は、円筒形の耐圧容器（直径44 cm×169 cm）と鋼製枠（215 cm×150 cm）よりなる。耐圧容器は、内部に、傾斜センサーつき強制ジンバルと伝送装置を収容している。傾斜センサーとしては、当センサーが陸上で観測に使用しているものとはほぼ同じタイプの振子型を2台、別に気泡型を1台の合計3台を使用している。伝送には周波数変調方式を採用している。

最初の実験は、昭和56年秋、この海底傾斜計を、波浪等観測塔付近の水深約20mの海底面に自由設置することにより、始められた。耐圧容器からの同軸ケーブルは、観測塔脚に添い立ち上げられ、観測室内で電力分離3波器を介し、既設ケーブル中の1対に接続される。この既設ケーブルからの信号は、平塚支所内の陸上復調装置に導かれる。観測を開始したものの、ドリフトが非常に大きく、おさまることがなかった。特に、台風時等悪天候の時のドリフトは大きく、2時間で500 μ radを越えるようなこともあった。

このように大きなドリフトの原因は、水深20mという浅海であるため、波浪の影響が海底面にまで及び、これによる往復流により、鋼製枠周辺の海底砂層が洗掘されることにあると考えられる。このような状況が以後も継続することとなれば、この実験観測本来の目的である、海底砂層での傾斜観測の可否を調査することができない。そこで、人為的に傾斜計を海底砂層中に埋設し、波浪の影響から逃がれることに決定した。

最初に設置してからちょうど1年後の、昭和57年秋、初期位置のすぐ隣りに埋設設置を行った。図7.7に埋設状況を示す。今回新たに採用した鋼製架台は、その4本の脚により、傾斜計をより密

な砂層と一体化させることを目的としている。この埋設工事の3ヶ月後、平塚-筑波間は専用電話回線によりテレメータ化された。これにより、姿勢制御およびデータ収集が効率的に行えるようになった。

次に観測結果についてであるが、埋設後ドリフトは激減し、1か月後にはほぼ定常状態となり、埋設が効果的であったことを示している。図7.8は、気泡型傾斜センサーによる連続観測記録である。東西成分はよく安定し、ドリフトは概略5 μ rad/月におさまっている。これは、通常の陸上のボアホール式傾斜計のドリフトの約10倍である。それでも1 μ rad程度の短期的変動は十分検出できると考えられる。南北成分のところどころに見られるステップは台風などによるものであるが、

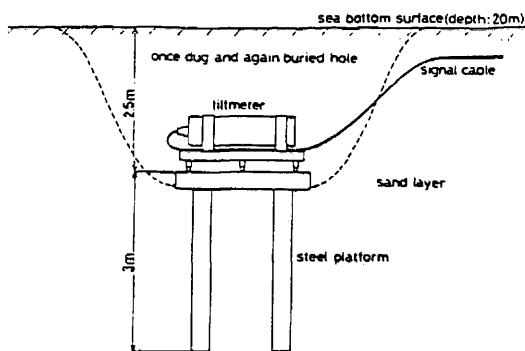


図 7.7 傾斜計の埋設状況（埋設位置は観測塔中心から平塚支所アンテナを結ぶ線から反時計回り1276°、塔中心から約32 cm。図で右側が北方）

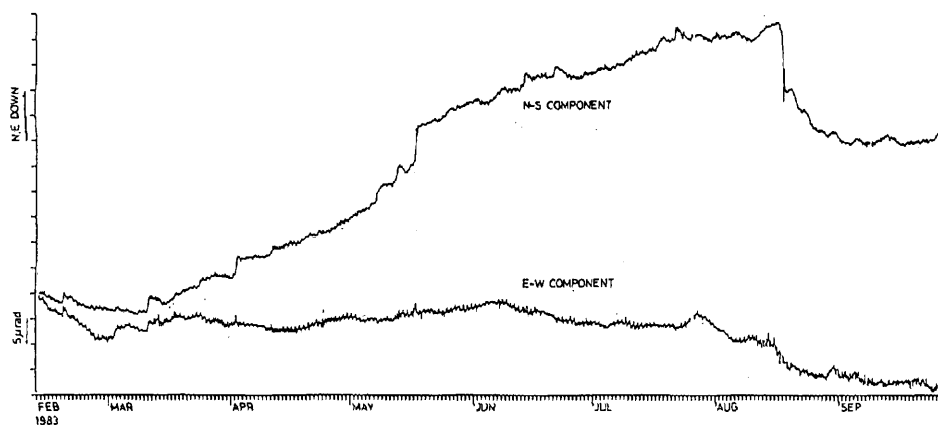


図 7.8 海底傾斜計連続観測記録（1983. 2-9）

その他はますます安定しているといえよう。

このようにして、浅海においてさえも、海底砂層中に埋設し、波浪の影響を小さくした海底傾斜計により、有効な傾斜観測が行えることがわかった。この結論は、今後の深海底への海底傾斜計設置方法について、有益な指示となるものである。

7.3 「しんかい2000」による研究

7.3.1 はじめに

科学者の未知なる対象への興味はとどまるところを知らない。厚さ数千mもの海水に覆われた海底は、可視光の到達しない暗黒の、そして長い間我々には手の届かない未知の世界であった。その

深海底も十年程前に華々しく登場したプレートテクトクス理論の前に、徐々にその姿を現わし始めた。

昭和52年にアメリカの地質学者達は、プレート運動に伴う地質現象を自分達の眼で確認すべく潜水調査船に乗り込み、ガラパゴス地溝帯に潜水し、そこで濃密な生物群集を発見した。その後、潜水調査船による深海調査が活発に行われ、同様な生物群集がプレート境界面で次々に発見された。これらの生物群集は太陽エネルギーに依存しない、プレート運動に伴い海底下から湧出する物質をエネルギー源として生活していると考えられている。

昭和60年の「しんかい2000」による相模湾初島沖での潜航調査で、巨大な二枚貝であるシロウリ

ガイの群生地が、ほぼ南北方向に約7kmにわたり散在しているのが発見された。この群生地の南西約20kmには、しばしば群発を繰り返す伊豆半島東方沖群発地震の震源域があり(図7.9)、海底活断層も近くにあることから、断層運動とシロウリガイ群生との関連に興味が持たれている。

昭和61年、国立防災センターは、「しんかい2000」を利用した海底ガンマ線探査を初島沖のシロウリガイ群生地で行い、数多くの有益な情報を手に入れた。この研究は海底活断層の新しい調査手法の確立を目的としている。

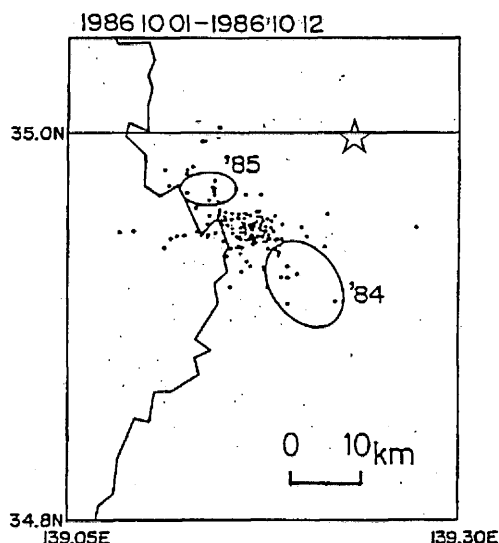


図7.9 伊豆半島東方沖群発地震活動(堀貞喜, 1986)とガンマ線調査地点(☆印)

7.3.2 研究の現状

(1) 計画の立案から潜航まで

昭和52年に基本設計が行われた「しんかい2000」は、翌昭和53年から建造が開始され、昭和56年10月末に完成した。そして、昭和58年7月には我が国で最初の研究調査が富山湾で行われた。国立防災センターが「しんかい2000」の利用計画書を、「ガンマ線による海底活断層調査」という研究テーマで提出したのは、昭和61年1月であった。この研究は、「地下で断層運動に伴い岩石破壊が起きた際、岩石内に含まれている放射性ガスのラドンが解放され、断層を通じて地上に供給されることを予想し、ラドンの娘核種であるビスマスが放出するガンマ線強度を計測して地震予知に貢献す

る」という内容である。しかし、その年は残念ながら潜航調査に参加することは出来なかった。翌年、再び同様な研究計画書を提出し、5月に相模湾で潜航調査を行うことになった。調査結果は予想した通り、シロウリガイ群生地でも過剰のラドンを観測した。この過剰のラドンがプレート運動に伴うものかを検証するため昭和62年10月と11月にそれぞれ、日本海中部地震の震源域と相模湾初島沖での潜航調査が予定されている。

(2) ガンマ線検出器

海底では、飛程の短い放射線は全て海水に吸収されてしまうため、ガンマ線が計測可能な唯一の放射線である。海底でのガンマ線強度は陸上に比べ低いいため、性能の秀れた検出器を選択することが重要である。以下に、一般によく使われているガンマ線検出器の特性を述べる。

(ア) シンチレーション計数器

シンチレーターに放射線が入射した際に生じる発光を、光電子増倍管で電流増幅して、これを電気信号に変換する。そして、この電流パルスを計数する。放射線の入射により発光する物質は数多く知られているが、光電子増倍管の最光感度に近い波長の光を出し、光の収量が大きく、かつ光の減衰時間の短い大型の結晶が得られるものが必要とされる。NaI(Tl)・CsI(Tl)などの無機結晶、アントラセン・スチルベンなどの有機結晶がシンチレーターとしてあるが、環境ガンマ線測定にはNaI(Tl)が最も有効である。これは、計数効率が高く、しかも比較的分解能が高い等の理由による。海底ガンマ線探査には、このシンチレーション検出器を使用した。

(イ) 半導体検出器

半導体の空乏層に入射した放射線によるイオン化電流を測定するのが半導体検出器の原理である。空乏層の作り方により幾つかの型に分けることが出来る。高純度半導体型・リシウムドリフト型が、代表的なガンマ線測定用半導体検出器であり、いずれもNaI(Tl)シンチレーション検出器に比べ格段に高い分解能を持つが、計数効率の低さ、液体窒素による冷却を必要とするなどNaI(Tl)シンチレーションよりも扱いにくいことが難点である。

(3) ガンマ線測定系

潜航調査に使用した測定系の概略を図7.10に示

す。NaI (Tl) シンチレーション検出器・前置増幅器・光電子増倍管から成る検出部を、直径25 cm 高さ70 cm, 内厚2 cm, 空中重量35 kg の円筒型のアルミニウム製耐圧容器に収納し、調査船の外側に取り付けて、3,000 秒間の測定を行った。検出器からの信号は、長さ約5 mの信号用同軸ケーブルを介して調査船コックピット内のマルチチャンネル波高分析器に伝送される。コックピットには、高圧電源・主増幅器・マルチチャンネル波高分析器、それらの動作に必要な電圧を供給するためのバッテリー、そして得られたデータをカセットテープに記録するためのテープレコーダーが設置されている。潜航調査が終わった後、カセットテープに記録されたデータはインターフェイスを介してディスクに保存され、パーソナルコンピュータでスペクトルの解析が行われる。

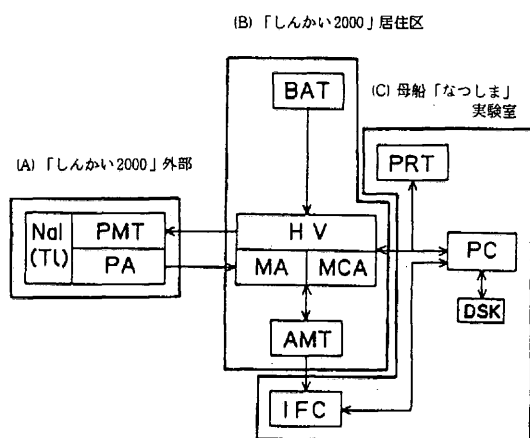


図 7.10 ガンマ線測定系

- (A) 「しんかい2000」外部
NaI(Tl) : NaI(Tl) シンチレーション
計数管
PMT : 光電子増倍管
PA : 前置増幅器
(B) 「しんかい2000」コックピット
HV : 高圧電源
MA : 主増幅器
MCA : マルチチャンネル波高分析器
BAT : 鉛蓄電池
AMT : オーディオ磁気テープ
(C) 母船「なつしま」実験室
PC : パーソナルコンピュータ
PRT : プリンター
DSK : ディスク装置
IFC : インターフェイス

7.3.3 将来計画

潜水調査船「しんかい2000」を利用した海底活構造地域のガンマ線調査は、地震予知研究上有効であることが今回の潜航調査で確認された。しかし、この調査方法は一地点での測定に約50分を必要とするため、一回の潜航では最大三地点のデータしか得ることが出来ない。これは極めて不利と言わざるを得ない。この問題を解決するためにも、そして地震予知研究には同一地点での長期間にわたる多要素の連続記録が必要であることから考えても、早急に多くの観測項目を同時測定出来る深海用連続観測装置を製作し、「しんかい2000」で適当な海底に布設する観測手法を開発する必要がある。

7.4 硫黄島における海の観測

7.4.1 概要

小笠原の硫黄島は、東京湾口の南方約1,250 km に位置し、伊豆・マリアナ島弧上にある活動の活発な火山島である。

この火山島に国の火山噴火予知計画に沿って、当所では昭和55年度より火山活動観測網の整備に着手し、昭和59年にその骨格的整備を終了し、現在、地震等の観測を継続中である。これらのデータを使用し、火山噴火予知および火山災害の研究がなされている。更に、これらの結果は、必要に応じて、火山噴火予知連絡会等に報告している（図 7.11, 図 7.12）。

7.4.2 研究の現状

海に関する観測としては、潮位の観測が、昭和55年12月より、島の南端の飛石鼻において開始された。この目的は、同島の地殻変動状況を把握するため水準の基準点を平均潮位によって求めるためである。

観測方法は、開始以来、昭和61年9月までが浮子の位置を磁気による検出で水位を測定するものであったが台風等の波浪に耐えられず、2回流失したため、昭和62年3月以降は、圧力センサーによる測定方式として現在観測中である。昭和61年9月から62年3月の間は方式設計と場所の選定のため欠測である（図 7.13, 写真 7.1）。

水位は、5 分間の平均水位を観測しているため、

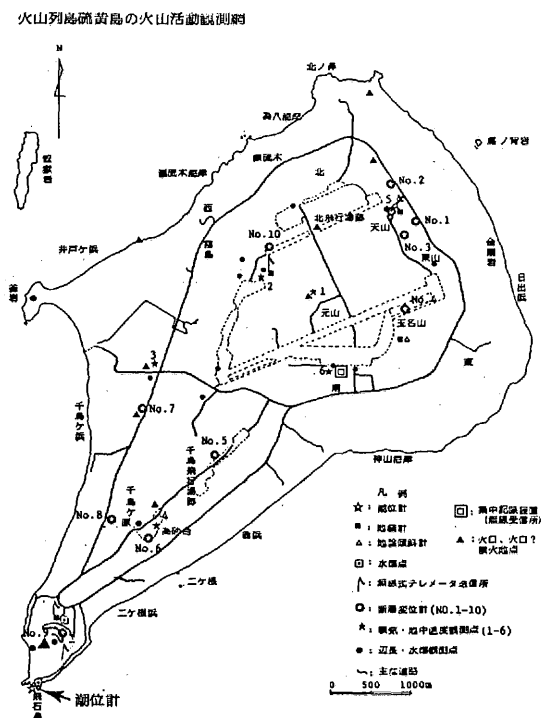
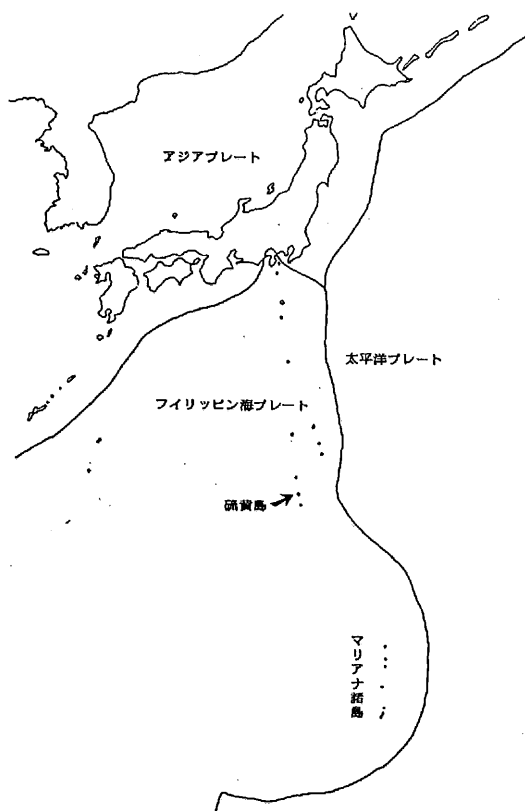


図 7.11 硫黄島の位置

図 7.12 硫黄島の火山活動観測点位置図

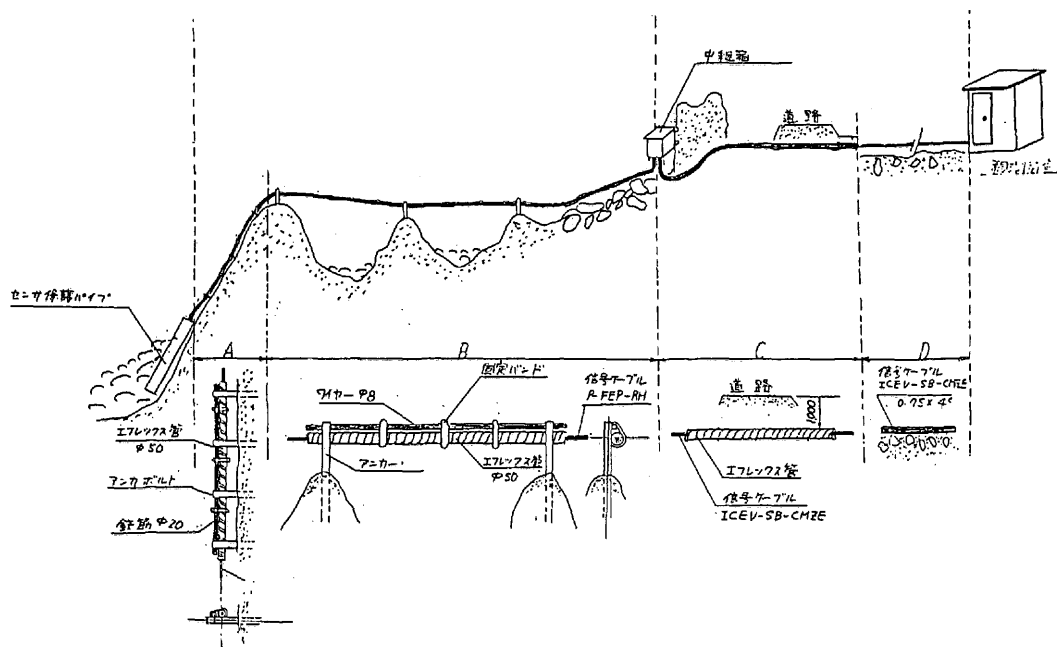


図 7.13 潮位計の設置概要図 観測小屋からは無線式テレメータにより約 4.7 km 離れた集中記録装置のバルブカセットに記録される。

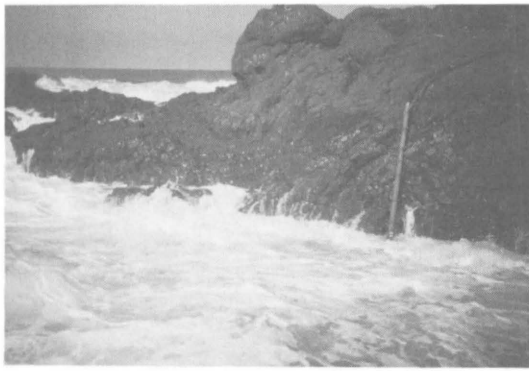


写真 7.1 硫黄島の南端飛石鼻の溶岩に固定され設置された潮位計受感部

それより短い周期の波等の観測には不適である。

硫黄島の水位観測中に予想もしていなかった、海底噴火によると考えられる水位の変化が昭和61年1月18日から19日にかけて観測された。この海底噴火は、南硫黄島近海の「福德岡の場」に発生したもので、噴火活動に伴って新島を形成するなど1914年以来72年ぶりの大噴火であった。この時の水位変化について、当所の海洋関係者により解析され、海洋学会等での成果が発表されている。

7.4.3 将来計画

現状では、平均海水面を算出する手段としての水位観測であるが、太平洋の只中で、さえぎるものが何もなく、水位の変化等が観測出来るという

好位置を占めているこの観測点を瞬間値を観測出来るように施設を強化し、予想される南方海域に位置する海底火山による水位の変化を直接観測し、海底噴火の機構解明等に役立てたい。

「福德岡の場」の噴火活動時に、いわゆる火山性微動とは異なる数秒から数ヘルツの地震波形が固有周期1秒の地震計により観測された。これは、噴火活動に伴う音波の可能性もあったが、決め手となるものはなかった。水中音圧計による水中音の観測を行って居れば、詳細な検討が可能であり、噴火機構の解明や予知手法の確立に役立ったのではないかと考えられる。機会があれば、海底噴火のみならず、遠地地震や津波に関する何等かの新しい情報が得られる可能性があるので水中音圧計による水中音の観測をぜひ実施したいと考えている。

これら観測したデータは、現在、現地収録であるが、筑波の本所へデータが伝送されれば、水位変化をもたらすような現象の発生に際し、即時対応が可能になり、研究は一層推進されるものと考えられる。

硫黄島では現在、人工衛星を利用したNTTの公衆回線があり、内地と通話が可能であるが、研究用に一回線占有することは難しいようで、将来回線容量の増大あるいは他の衛星（JC・SAT等）を利用することを考えたい。

参 考 資 料

1. 研究論文等

- IWATA, N. (1966) : A note on the wind stress over disturbed sea surface. *Res. Notes*, No. 3, 1-6.
- IWATA, N. (1968) : A note on the diabatic wind profile. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 24(2), 51-53.
- IWATA, N. (1968) : On the maintenance of the turbulent Reynolds stress in the surface boundary layer. *La Mer*, 6(2), 120-124.
- IWATA, N. (1968) : A note on the wind-wave interaction. *La Mer*, 6(2), 126-135.
- YAMAMOTO, G. and J. KONDO (1968) : Evaporation from Lake Nojiri. *J. Meteor. Soc. Japan*, 46(3), 166-177.
- IWATA, N. (1969) : Aerodynamic roughness of the sea surface. *La Mer*, 7(4), 270-277.
- IWATA, N. (1970) : A complementary note on the aerodynamic roughness of wind disturbed sea surface. *La Mer*, 8(4), 240-245.
- IWATA, N. (1970) : A note on the wave set-up, lonshore current and undertows. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 26(4), 233-236.
- KONDO, J., G. NAITO and Y. FUJINAWA (1971) : Responce of cup anemometer in turbulence. *J. Meteor. Soc. Japan*, 49(2), 63-74.
- KONDO, J. (1971) : Effect of radiative heat transfer on profiles of wind, temperature and water vapor in the atmospheric boundary layer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 49(2), 75-94.
- KONDO, J. (1971) : Relationship between the roughness coefficient and other aerodynamic parameters. *J. Meteor. Soc. Japan*, 49(2), 121-124.
- IWATA, N. (1971) : Estimation of directional properties of wind waves by ultrasonic current meter. *La Mer*, 9(1), 1-12.
- FUJINAWA, Y. (1971) : A model of turbulence : statistical treatment of an ensemble of vortex filaments. *Rep. NRCDP*, No.5, 89-95.
- FUJINAWA, Y. (1971) : "Overshooting" in wind-generated waves. *Rep. NRCDP*, No. 5, 97-103.
- IWATA, N. (1971) : Directional energy distribution of wind waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 27(3), 102-108.
- IWATA, N. (1971) : Similarity of the spectral from of wind waves in earlier stages of their development. *Rep. NRCDP*, No. 7, 35-45.
- KONDO, J., and Y. FUJINAWA (1972) : Errors in estimation of drag coefficient for sea surface in light winds. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50(2), 145-149.
- KONDO, J., Y. FUJINAWA and G. NAITO (1972) : Wave-induced wind fluctuation over the sea. *J. Fluid Mech.*, 51(4), 751-771.
- KONDO, J. and G. NAITO (1972) : Disturbed wind fields around the obstacle in sheared flow near the ground surface. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50(4), 346-354.
- KONDO, J. (1972) : Difference between the net radiation at the ground surface and that measured at the height of net radiometer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50(4), 381-383.
- KONDO, J. (1972) : On a product of mixing length and coefficient of momentum absorption within plant canopies. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50(5), 487-488.
- KONDO, J. (1972) : Applicability of micrometeorological transfer coefficient to estimate the long - period means of fluxes in the air - sea interface. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50(6), 570-576.
- KONDO, J., Y. FUJINAWA and G. NAITO (1973) : High -frequency components of ocean waves and their relation to the aerodynamic roughness. *J. Phys. Oceanogr.*, 3(2), 197-202.

TSUJI, Y. and Y. NAGATA (1973) : Stokes' expansion of internal deep water to the fifth order.

J. Oceanogr. Soc. Japan, 29, 61-69.

岩田憲幸・稲田 亘 (1966) : 超電波波高計 (空中型) について。防災科学技術総合研究速報 第1号, 33-37。

岩田憲幸 (1966) : 海面上の風の応力。うみ 第4巻, 278-282。

稲田 亘・渡部 勲 (1969) : 容量型波高計について。国立防災科学技術センター研究報告 第2号, 57-68。

藤縄幸雄 (1969) : 重力波における波高と水圧の関係 (I)。同上, 69-74。

近藤純正・渡部 勲 (1969) : 深い湖の水溫鉛直分布と蒸発の季節変化。同上, 75-88。

近藤純正・内藤玄一 (1969) : 地表面近くの地温・気温の日変化特性。同上, 89-105。

近藤純正・渡辺英雄 (1969) : 水面近くの薄い層の水溫について。天気 第16巻, 501-511。

近藤純正 (1969) : 蒸発についての問題点。海と空 第45巻, 49-75。

岩田憲幸・田中孝紀 (1970) : 発達過程にある風浪。国立防災科学技術センター研究報告 第4号, 1-21。

岩田憲幸・稲田 亘・田中孝紀・渡部 勲 (1970) : 波浪のスペクトル幅と統計量 (I)。同上, 23-31。

近藤純正・稲田 亘・内藤玄一・渡部 勲 (1970) : 平塚沿岸の風・水溫および波について。同上, 45-64。

岩田憲幸・田中孝紀・渡部 勲 (1971) : 台風によるうねり。国立防災科学技術センター研究報告 第5号, 59-79。

岩田憲幸・稲田 亘・渡部 勲 (1971) : 波浪のスペクトル幅と統計量 (II)。同上, 81-87。

岩田憲幸・藤縄幸雄・田中孝紀・浅田康夫・関本道夫 (1971) : 砕波と沿岸流。防災科学技術総合研究報告 第25号, 87-95。

岩田憲幸 (1971) : 風浪の発達過程。沿岸海洋研究ノート 第9巻, 7-21。

近藤純正 (1971) : 地表温度の数値予報。国立防災科学技術センター研究報告 第7号, 47-67。

岩田憲幸・田中孝紀 (1972) : 砕波帯内の沿岸流。防災科学技術総合研究報告 第28号, 113-119。

近藤純正・内藤玄一・藤縄幸雄 (1972) : 海水温度の半日周期変化。海と空 第48巻, 53-59。

近藤純正・藤縄幸雄・内藤玄一 (1972) : 海面上の乱れの解析。同上, 61-71。

岩田憲幸 (1972) : 沿岸海洋の力学的な運動形態 (序)。沿岸海洋研究ノート 第10巻, 6-13。

近藤純正 (1974) : 放射とその熱作用および放射計。気象研究ノート 第119号, 49-52。

内藤玄一・都司嘉宣・渡部 勲 (1976) : 冬期南西諸島南方海域における運動量・顕熱・潜熱の輸送と放射量, AMTEX '74報告。国立防災科学技術センター研究報告 第14号, 1-35。

FUJINAWA, Y. (1974) : Measurement of directional spectrum of wind waves using an array of wave detectors. Part 1. A new technique of evaluation. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 30 (1), 10-22.

FUJINAWA, Y. (1974) : A model on the mechanism of momentum transfer from turbulent atmosphere to water waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 30 (3), 97-107.

IWATA, N. (1974) : Energy-momentum tensor and conservation laws for water waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 30 (5), 222-231.

NAITO, G. and J. KONDO (1974) : Spatial structure of fluctuating components of the horizontal wind speed above the ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 52 (5), 391-399.

FUJINAWA, Y. (1975) : Measurement of directional spectrum of wind waves using an array of wave detectors. Part 2. Field observation. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 31 (1), 25-42.

岩田憲幸 (1974) : 熱塩対流について, 沿岸海洋研究ノート, 11 (2), 73-84.

近藤純正・藤縄幸雄・内藤玄一 (1974) : 砕波・白波・波浪高周波成分の観測と海面粗度。国立防災科学技術センター研究報告, No. 10, 1-23.

- 近藤純正・内藤玄一・藤縄幸雄・渡部 勲 (1974) : 海上風の乱れのスケールと軸の傾き。国立防災科学技術センター研究報告, No. 10, 25-40.
- 近藤純正 (1974) : 海面と大気間の運動量・顕熱・水蒸気に対する輸送係数。国立防災科学技術センター研究報告 No. 10, 41-65.
- 近藤純正・内藤玄一・藤縄幸雄 (1974) : 風による海洋最上層の流速。国立防災科学技術センター研究報告 No. 10, 67-82.
- 内藤玄一・近藤純正 (1974) : 海面近くの風速変動の相関と乱過の三次元モデル。国立防災科学技術センター研究報告, No. 10, 83-96.
- 藤縄幸雄 (1975) : 風浪の方向スペクトルの測定。国立防災科学技術センター研究報告, No. 11, 1-30.
- 藤縄幸雄 (1975) : 風浪の発達機巧一つのモデル。国立防災科学技術センター研究報告, No. 11, 31-47.
- 都司嘉宣 (1975) : 水温躍層を伝わる内部波の減衰。国立防災科学技術センター研究報告, No. 11, 49-66.
- IWATA, N. (1976) : Rip Current Spacing. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **32**, 1-10.
- SUGIMORI, Y. (1976) : Two-Dimensional Surface Wave on the Shearing Current. *Rep. Nat. Res. Ctr. for Disaster Prevention*, **13**.
- SUGIMORI, Y. (1976) : A Study of Generation of Shallow Water Wave over the Continental Shelf. *Rep. Nat. Res. Ctr. for Disaster Prevention*, **15**.
- 内藤玄一・都司嘉宣・渡部 勲 (1976) : 冬期南西諸島南方海域における運動量・顕熱・潜熱の輸送と放射量 (Ⅱ), AMTEX'75報告。国立防災科学技術センター研究報告, No. 15
- 都司嘉宣 (1976) : 陸棚斜面による長周期波の部分反射。国立防災科学技術センター研究報告, No. 15
- 藤縄幸雄・岡田憲司・渡部 勲 (1976) : 波浪に伴う長周期波 (サーフ・ビート) の特性 (Ⅰ)。国立防災科学技術センター研究報告, No. 15
- 藤縄幸雄・岡田憲司・渡部 勲 (1977) : 波浪に伴う長周期波 (サーフ・ビート) の特性 (Ⅱ)。国立防災科学技術センター研究報告, No. 17
- 都司嘉宣 (1977) : 海水混合に果たす潮汐の役割, 緩やかに水深が変化する海域を伝わる内部波に対する KdV 方程式について。国立防災科学技術センター研究報告, No. 17
- 内藤玄一 (1977) : 海面近くの大気境界層における運動量, 顕熱輸送の直接測定。国立防災科学技術センター研究報告, No. 17
- 杉森康宏 (1977) : 飛翔体からの観測による波浪計測法。沿岸海洋研究ノート, **15** (1)
- IWATA, N. (1978) : Rip Current Spacing as an Eigenvalue, *Proc. 16th Coastal Engineering Conference*, **828-840**.
- NAITO, G. (1978) : Direct Measurements of Momentum and Sensible Heat Fluxes at the Tower in the Open Sea, *Jour. Meteorological Soc. Japan*, **56**, 25-34.
- 藤縄幸雄・渡部 勲・大池高保 (1978) : 相模湾内の津波の特性 (Ⅰ)。国立防災科学技術センター研究報告, No. 19, 117-165.
- 内藤玄一 (1978) : 海洋上の大気境界層における風速, 気温変動の空間相関 (Ⅰ), 国立防災科学技術センター研究報告, No. 19, 167-189.
- 内藤玄一・徳田正幸・渡部 勲 (1980) : マイクロ波散乱計による海上風の遠隔測定実験, 国立防災科学技術センター研究報告, No. 23, 193-213.
- 竹田 厚 (1980) : 衛星による海上風のリモートセンシング—SEASAT-A 散乱計システムの技術とその基礎—天気, **27**, 13-28.
- TAKEDA, A. (1981) : Effects of Water Motions on Spectral Characteristics of Wind Fluctuations in the Marine Atmospheric Surface Layer. *J. Met. Soc. Japan*, **59**, 487-509.

- TOKUDA, M. and Y. TOBA (1981) : Statistical Characteristics of Individual Waves in Laboratory Wind Waves I. Individual Wave Spectra and Similarity Structure. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 243-258.
- TOKUDA, M. and Y. TOBA (1982) : Statistical Characteristics of Individual Waves in Laboratory Wind Waves II. Self-Consistent Similarity Regime. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**, 8-14.
- NAITO, G. (1982) : Three-Dimensional Space Structure of Turbulent Eddy in the Atmospheric Boundary Layer Above the Ocean. *J. Met. Soc. Japan*, **60**, 1299-1315.
- IWATA, N. (1983) : Backscatter of Microwaves from the Sea Surface and the Modulation of Short Gravity Waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**, 43-52.
- TSUJI, Y. (1983) : Study on the Earthquake and the Tsunami of September 20, 1498. *Tsunamis - Their Science and Engineering*, edited by K. Iida and T. Iwasaki, 185-204.
- 竹田 厚 (1981) : SEASAT衛星の散乱計データによる海上風向・風速場の解析。国立防災科学技術センター研究報告 第25号 143-154。
- 都司嘉宣 (1981) : 1979年20号台風による高潮・高波について。国立防災科学技術センター研究報告 第25号 155-168。
- 都司嘉宣 (1981) : 元禄地震・津波 (1703 - XII - 31) の下田以西の史料状況。地震 第2輯 第34巻 401-411。
- 徳田正幸・内藤玄一・都司嘉宣・渡部 勲 (1981) : 圧力式波浪計による相模湾での波浪観測 I 国立防災科学技術センター研究報告 第26号 133-154。
- 都司嘉宣 (1982) : 安政2年9月28日 (1855 - XI - 7) の遠江沖地震について。地震 第2輯 第35巻 35-51。
- 徳田正幸・江口純弘 (1982) : 圧力式ジンバル波浪計の開発研究。国立防災科学技術センター研究報告 第27号 247-278。
- 内藤玄一 (1982) : 海洋上の大気境界層における風速、気温変動の空間相関 (II)。国立防災科学技術センター研究報告 第29号 137-156。
- 徳田正幸 (1982) : 三本の波高計センサーによる波浪の方向特性の算出法 - I。実験室の風波の方向特性。国立防災科学技術センター研究報告 第29号 157-192。
- 岩田憲幸 (1983) : 沿岸波浪と海浜循環流。沿岸海洋研究ノート 第20巻 第2号 155-163。
- 徳田正幸 (1983) : 三本の波高計センサーによる波浪の方向特性の算出法 - II。観測塔で観測されたうねりの方向特性。国立防災科学技術センター研究報告 第30号 167-187。
- 徳田正幸・渡部 勲・江口純弘 (1983) : 相模湾の波浪特性 II。国立防災科学技術センター研究報告 第31号 219-239。
- 藤縄幸雄 (1979) : サーフビートの特性について (英文) *Jour. Oceanogr. Soc. Japan* Vol. 35, 9-25。
- 藤縄幸雄・松本一朗・渡部 勲 (1978) : 短い風浪の波速について 国立防災科学技術センター研究報告 No20 245-265。
- 都司嘉宣 (1979) : 海洋研究における計算機シミュレーションの得失 海洋科学 Vol. 11, No 8, 684-695。
- 都司嘉宣 (1979) : 歴史資料から見た東海沖地震・津波 海洋科学 Vol. 11, No 1, 32-44。
- 藤縄幸雄・松本一朗・渡部 勲 (1980) : Short Gravity Wave の方向スペクトル幅について 国立防災科学技術センター研究報告 No23, 185-192。
- 藤縄幸雄他 (1980) : 曳航式CTDのテストについて (英文) 日本海洋学会誌 Vol. 36, 253-258。
- 渡部 勲・岩田憲幸 (1980) : 平塚で観測された異常潮位 (1979年) 防災科学技術研究資料 No52。
- 坂田正治・島田誠一 (1982) : プレート沈降域の地殻変動を監視するための海底傾斜計の開発 (英文)

- Proceedings of the General meeting of the IAG. Tokyo. May 7-15 pp. 233-237.
- 岩田憲幸 (1982) : 沿岸波浪と海浜循環流 沿岸海流研究ノート (日本海洋学会) Vol.20, No.2, 155-163.
- 竹田 厚 (1982) : 海洋学における衛星資料の利用—海面水温, 水色, 海流, 渦, 波浪等の観測— 日本気象学会・気象研究ノート No.145, 195-246.
- 江口孝雄・藤縄幸雄・石原直樹 (1982) : 自己浮上式海底地震計用の時刻校正装置 地震2 Vol.36, 635-642.
- 内藤玄一 (1983) : 海洋上の観測塔で測定された強風の性質 UJNR耐風・耐震構造専門部会第15回合同部会会議録 139-152.
- 内藤玄一 (1983) : 海上風の乱流特性 日本風工学会誌 第16号 61-62.
- 内藤玄一 (1983) : 海上風の空間構造 (英文) *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol.13, 67-76.
- 都司嘉宣 (1983) : ソ連の地震予知研究事業 (翻訳) 単行本 (地震予知総合研究振興会) 234.
- 都司嘉宣・竹田 厚・小西達男・高橋 博 (1983) : 1982年10号, および18号台風に伴う潮位偏差について UJNR耐風・耐震構造専門部会第15回合同部会会議録 903-920.
- 八木鶴平・上田 博 (1983) : 北海道釧路市における昭和57年度海霧観測の概要 国立防災科学技術センター研究速報 No.49 19.
- 小西達男・木下武雄 (1983) : 高潮の河川遡上に関する研究 国立防災科学技術センター研究報告 No.31 67-87.
- 徳田正幸・渡部 勲・平元泰輔・池田文雄・長谷川保 (1983) : 台風による定置網被害時の波浪特性 I 国立防災科学技術センター研究速報 No.54 51
- 熊谷貞治・高橋 博 (1984) : 火山列島硫黄島の地殻変動(2) 火山 第2集, 第29巻, 第4号, pp.327
- 都司嘉宣 (1984) : 流出水の分布形状の理論解析 沿岸海洋研究ノート 1984 Vol.21, No.2 98-109.
- 竹田 厚 (1984) : 波, 海のはたらき—地球とその進化—, 3章海水とその運動 現代総合科学教育大系 (講談社) 第2巻 130-145.
- 竹田 厚他 (1984) : 宇宙基地による海洋情報即時通報システム (英文) 第14回宇宙技術科学シンポジウム論文集 1263-1271.
- 内藤玄一 (1984) : 長時間吹送時の海上風の性質 第8回風工学シンポジウム論文集 1-6.
- 徳田正幸 (1984) : 波浪からみた台風による定置網の被害について かながわてい 第58号 5-8.
- 都司嘉宣 (1984) : 韓半島東海岸に襲った地震海溢 (韓国語) 韓国海洋学会1984年度秋季研究発表会論文目録 26-30.
- 都司嘉宣 (1984) : 「歴史地震に関する研究」報告書 157pp
- 都司嘉宣他 (1984) : 日本海中部地震の前兆現象ならびに歴史地震・津波に関する研究 130pp.
- 都司嘉宣他 (1984) : 日本および韓国の沿岸での日本海中部地震の津波高分布 UJNR耐風・耐震構造専門部会第16回合同部会会議録 753-771.
- 都司嘉宣・白雲 雲*・安 希洙・秋 教昇 (1984) : 韓国東海岸を襲った地震海溢 海洋科学 1984 第16巻, 第9号 527-537.
- 都司嘉宣・小西達男・木下武雄・沼野夏生・阿部 修 (1984) : 日本海中部地震の津波高分布 海洋科学 第16巻, 第9号 516-526.
- 木下武雄・小西達男・都司嘉宣 (1984) : 津波危険度評価のための高まり係数, 国立防災科学技術センター研究報告, No.33, 15-22.
- 江口孝雄・藤縄幸雄・佐藤 弘 (1984) : 海底地震計の設置・回収用超音波位置検知遠隔制御装置, 国立防災科学技術センター研究報告, No.33, 69-76.
- 小西達男・木下武雄 (1985) : 高潮の河川遡上に関する研究 (II), 国立防災科学技術センター研究報告

№34, 13-24。

鶴川元雄・藤縄幸雄・前田隆夫・江口孝雄（1985）：自己浮上式海底地震計の観測データ処理方法，国立防災科学技術センター研究報告，№34，43-58。

渡部 勲・徳田正幸（1984）：沿岸波浪観測システムに関する研究Ⅰ，波高の定時観測，国立防災科学技術センター研究速報，№61，24pp。

徳田正幸・渡部 勲・堀江賢次・佐藤 浩（1984）：沿岸波浪観測システムに関する研究Ⅱ，方向スペクトルの定時観測，国立防災科学技術センター研究速報，№67，33pp。

高橋 博・藤縄幸雄（1983）：日本における津波研究の現状と方向（英文），UJNR耐風・耐震構造専門部会 第11回合同部会会議録NBS特別出版物，No.658，X-1-7。

小西達男・木下武雄・高橋 博（1985）：高潮の河口部の遡上について，UJNR耐風・耐震構造専門部会 第17回合同部会会議録，735-749。

鶴川元雄・藤縄幸雄・杉山四朗・小沢美喜男（1984）：自己浮上式海底地震計用40MHz帯ラジオビーコンと閃光灯の開発，地震2，第37巻，第4号，671-674。

鶴川元雄・江口孝雄・藤縄幸雄（1985）：地底地震計で観測された駿河湾周辺の微小地震活動，地震2，第38巻，第3号，381-397。

鶴川元雄・江口孝雄（1986）：OBS観測に基づく駿河トラフ周辺の微小地震活動，地震予知連絡会会報，第35巻，282-286。

熊谷貞治・高橋 博（1985）：火山列島硫黄島の地殻変動，地学雑誌，Vol.94，No.6，77-79。

竹田 厚・徳田正幸・渡部 勲（1985）：2周波マイクロ波散乱計を使った海洋波浪の方向スペクトルの計測（英文），*Wave Breaking, Turbulent Mixing and Radio Probing of the Ocean Surface*，269-274。

竹田 厚（1985）：合成開口レーダ（SAR）による波浪情報の高度化，海洋科学，第17巻，第7号，487-495。

都司嘉宣・竹田 厚・小西達男（1985）：1982年10号，および18号台風による高潮，国立防災科学技術センター研究報告，№35，299-314。

内藤玄一（1985）：台風通過時の海上風の乱流特性，国立防災科学技術センター研究報告，№35，315-333。

都司嘉宣（1986）：神奈川県寺院過去帳アンケート調査結果でみた歴史地震被害，国立防災科学技術センター研究報告，№36，95-112。

竹田 厚他（1985）：海洋の衛星観測に関する機会と問題点（英文），Report of SCOR Working Group 70 72pp。

竹田 厚・横山隆三（1986）：欧州地区におけるリモートセンシング関係機関の動向，昭和60年度高度リモートセンシング技術に関する調査研究報告書，80pp。

佐藤英夫・徳田正幸・杉本隆成（1985）：相模湾の波浪特性，水産海洋研究会報，第47号，90-94。

内藤玄一（1985）：台風時の海上風の乱れの強さ，日本風工学会誌，第24巻，1-2。

内藤玄一・高橋 博（1985）：台風通過時の海上風 乱の性質（和・英文），UJNR耐風・耐震構造専門部会第17回合同部会会議録，179-192。

内藤玄一・渡部 勲・徳田正幸（1985）：マイクロ波散乱計による海洋のレーダ後方散乱の測定（英文）*Proceedings of OCEANS '85* 287-291。

都司嘉宣・斎藤弘士（1985）：地元資料でみる沼津市，および戸田村の津波の歴史，地球，Vol.7，№4，192-203。

都司嘉宣（1985）：小田原を襲った歴史津波について，地球，Vol.7，№8，431-439。

都司嘉宣・小西達男・高橋 博（1985）：日本海に発生した地震津波と数値計算結果（和・英文），UJNR耐風・耐震構造専門部会第17回合同部会会議録，179-192。

都司嘉宣（1985）：千葉県君津市大坂の岩田寺の伝承中に現れる延文5年（1360）の地震，歴史地震，第

I号, 89-103。

竹田 厚・都司嘉宣・高橋 博(1986)：津波・高潮による浸水域の衛星データを使った識別方法，
UJNR耐風・耐震構造専門部会第18回合同部会会議録，443-448。

竹田 厚(1987)：羅賀の津波石，国立防災科学技術センター研究報告，No.39，163-169。

2. 資 料 等

渡部 勲・藤縄幸雄(1979)：平塚沖波浪観測資料(1) 第38号。

渡部 勲・徳田正幸(1980)：平塚沖波浪観測資料(2) 第47号。

渡部 勲・徳田正幸(1981)：平塚沖波浪観測資料(3) 第59号。

渡部 勲・徳田正幸(1985)：平塚沖波浪観測資料(4) 第107号。

都司嘉宣(1979)：東海地方地震津波史料(I, 上) 第35号。

都司嘉宣(1979)：東海地方地震津波史料(I, 下) 第36号。

都司嘉宣(1981)：高知県地震津波史料 第57号。

都司嘉宣(1981)：紀伊半島地震津波 第60号。

都司嘉宣(1984)：昭和58年(1983年)日本海中部地震における津波に関する痕跡・証言の調査結果 第
87号。

都司嘉宣他(1985)：韓国東海岸を襲った日本海中部地震津波 第90号。

平塚支所(1986)：国立防災科学技術センター“波浪等観測塔”20年の記録 ―技術資料集― 第110号。

本号の執筆者

- (所 長) 高橋 博
(平塚支所) 竹田 厚, 内藤玄一, 徳田正幸, 渡部 勲,
岩崎伸一
(第2研究部) 坂田正治, 吉田則夫
(第3研究部) 熊谷貞治
(流動研究官) 藤縄幸雄

防災科学技術

No.60 1987 Oct.

昭和62年10月19日 印刷

昭和62年10月23日 発行

編集兼 国立防災科学技術センター
発行人 茨城県新治郡桜村天王台3-1
TEL. (0298) 51-1611(代)

印刷 フクダ工芸株式会社
