

2014 年度（第 50 回）
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース

Lecture Notes of the
50th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2014
Course B

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会
Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,
Coastal Engineering Committee,

JSCE
2014 年 8 月

August 2014

2014 年度（第 50 回）
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース（海岸・港湾コース）

総合テーマ：海岸・港湾に関する調査・観測の技術

B-1 わが国における気象観測とそのデータ利用

気象庁 観測技術管理官 蓼沼信三

Shinzo TADENUMA

B-2 日本沿岸における波浪の常時観測 ～全国港湾海洋波浪情報網・ナウファス为例に～

港湾空港技術研究所 チームリーダー 川口浩二

Koji KAWAGUCHI

B-3 田辺中島高潮観測塔における気象海象観測

京都大学 准教授 馬場康之

Yasuyuki BABA

B-4 調査観測兼清掃船による有明海・八代海の環境調査について

九州地方整備局 沿岸防災対策官 奥村靖浩

Yasuhiro OKUMURA

B-5 漂砂・海浜変形の調査と解析について

鳥取大学 教授 黒岩正光

Masamitsu KUROIWA

B-6 国内外における沿岸域災害調査

東京大学 教授 田島芳満

Yoshimitsu TAJIMA

B-7 現場観測データに基づく甕島浦内湾の副振動特性について

鹿児島大学 教授 山城 徹

Toru YAMASHIRO

B-8 古文書・津波堆積物が示す世界最大規模の津波の実態と対応策

琉球大学 教授 仲座栄三

Eizo NAKAZA

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-B-1

わが国における気象観測とその データ利用

気象庁 観測技術管理官

蓼沼信三

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

わが国における気象観測とそのデータ利用

Surface Weather Observation in Japan

蓼 沼 信 三
Shinzo TADENUMA

1 地上気象観測の目的

1.1 気象情報を支える基盤的な観測

我が国は、その地理的条件から、発達した低気圧の通過による突風や大雨、梅雨前線や秋雨前線の停滞による局地的な集中豪雨、台風の来襲による強風や大雨、夏の激しい雷雨、冬の季節風による日本海側の大雪など、人的、物的に大きな災害をもたらす様々な気象現象が発生する。また、地震や津波による災害や火山活動による災害なども発生する。

気象庁は、こうした自然災害の防止・軽減に資するため、気象、地震・火山、海洋に関する警報や注意報などの気象情報を作成・発表している。また、地球温暖化をはじめとした地球環境問題へ対応していくため、地球環境に関する情報を作成・発表している。これらの情報は、気象衛星や気象レーダー、アメダス、船舶など、様々な観測手段からなる観測網を用いて、大気や海洋、陸域で起こる様々な現象を時間的かつ空間的に細かく正確に観測し、詳細に解析することによって作成・発表されている。

気象観測は、気象による災害の防止・軽減、交通の安全確保や農業をはじめとする産業への積極的な利用などを目的に、多くの機関で実施されている。気象庁は、国・地方公共団体が実施する観測、防災や観測成果の公表を目的とする観測などについて、観測の方法をできるだけ統一し、観測精度を一定の範囲内に保つため、「気象業務法」で、検定に合格した測器の使用や観測所の届出などを定めている。

様々な気象観測のうち、我々が生活する地表付近の気象を対象とした観測で 100 年以上にわたり行われてきた地上気象観測の概要を以下、解説する。地上気象観測は、観測点における大気の様々な現象を精度良く把握できる最も基本的な観測のひとつである。

1.2 気象現象の空間・時間スケールと観測

観測点の配置や観測頻度を決定するためには、観測の対象となる気象現象の空間的・時間的スケールを考慮しなければならない。気象には、高・低気圧のように 1000km を超える規模の現象から竜巻のように 1km 以下のものまで様々な現象がある。その変動の周期や寿命も年単位のものから分単位のものまで様々である。一方、観測種目によっては、例えば風や降水のように、地形により大きな影響を受けるものと、気圧のように地形の影響を受けに



くいものがある。

以上のことから、大規模な現象を観測するためには、なるべく地形の影響を受けにくい平坦な場所で一様な間隔で観測することが望ましく、現象が小規模になるに従って、その現象の大きさに応じた更に密な観測点の配置が必要となる。

2 地上気象観測の種類

2.1 気象庁が行う地上気象観測

2.1.1 気象官署等で行う気象観測

気象庁は、災害の予防、交通の安全の確保、産業の興隆などに寄与するため、おおむね 150km 以下の間隔で配置した全国約

150 の気象官署と特別地域気象観測所において地上気象観測を実施している。これにより、ほぼ中規模スケール以上の気象現象を面的に捉えることができる。地上気象観測の観測要素には、気圧・気温・湿度・風向風速・降水量・積雪の深さ・降雪の深さ・日照時間・全天日射量・雲・視程・天気・大気現象があり、大部分は測器によって自動的に観測されるが、一部は観測者の目視・聴音により観測される。

観測の成果の利用目的によって、通報観測と気候観測に分類される。

通報観測：大気には国境がないため、地球規模での気象現象の観測・監視とそれに基づく解析が必要である。しかも、注意報・警報や天気予報の発表を通じて災害防止に寄与するためには、災害をもたらす恐れのある諸現象の移動と盛衰を、迅速かつ的確に把握する必要がある。このため、観測結果を即時的に世界各国の間で相互に交換することが必要であり、相互交換することを目的としているのが通報観測である。通報観測では、観測の種目・方法・時刻及び通報形式が世界的に定められている。通報内容の一部については、観測点付近の気象特性により地域あるいは国別に定められている。なお、特に定められた国内 52 か所の観測点のデータは、世界中に配信されている。

気候観測：長期にわたる大気の変動を監視・把握すると共に、観測結果を統計し整理して得た基本的な気候資料を様々な分野での利用に提供することを目的としているのが、気候観測である。観測結果は、データ点検などの品質管理を行った後、原簿として保存され、また、統計処理され、磁気媒体などの形で保管されている。これらは最も基本的な気象資料として、防災、産業活動及び調査・研究など、様々な分野で利活用されている。なお、特に定められた国内 52 か所の月平均気温や月降水量などの統計データは、世界中に通報され、世界の天候監視などに役立てられている。

時間スケール		1月	10日	1日	1時間	1分	1秒
空間スケール	惑星スケール	10 ⁴ km	モンスーン				
	総観スケール	2 × 10 ³ km	惑星波 ブロッキング 高気圧	傾圧不安定波 温帯低気圧 移動性高気圧			
	メソαスケール	2 × 10 ² km		前線 台風 ポーラーローフ			
	メソβスケール	2 × 10 ¹ km			局地風 集中豪雨 スコール・ライン 雷雨		
	メソγスケール	2 km				山岳波 積乱雲 ダウンバースト 積雪	
	マイクロスケール	200 m 20 m					竜巻 サーマル 境界層内の乱れ

図2 気象現象の空間・時間スケールによる分類 (I.Orlanski, 1975) (参考文献：気象科学辞典 東京書籍)

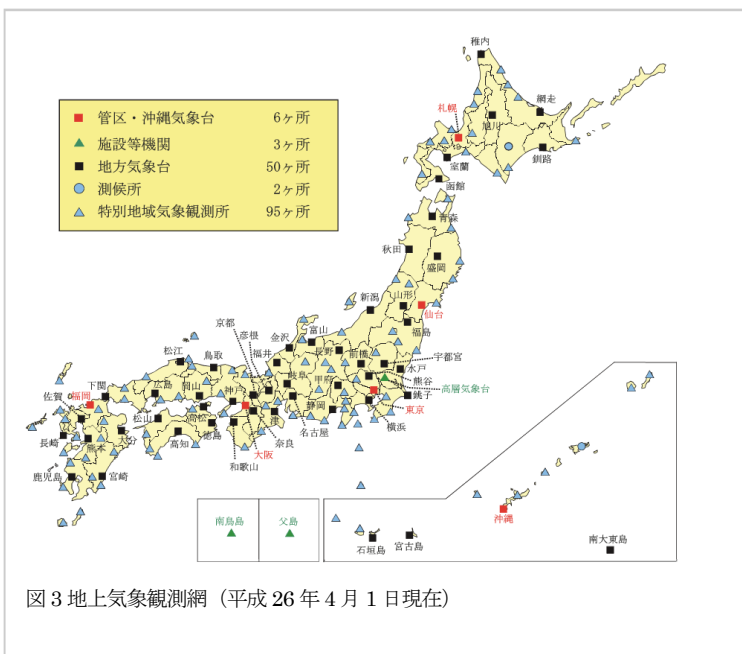


図3 地上気象観測網 (平成 26 年 4 月 1 日現在)

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-B-2

日本沿岸における波浪の常時観測
～全国港湾海洋波浪情報網・ナウファスを例に～

港湾空港技術研究所 チームリーダー

川口浩二

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

日本沿岸における波浪の常時観測

～全国港湾海洋波浪情報網・ナウファスを例に～

Introduction of Wave Observation by NOWPHAS

川 口 浩 二

Koji KAWAGUCHI

1. はじめに

海岸・港湾における調査・研究を実施する際、波浪は最も重要かつ基礎的な情報である。近年の数値シミュレーションの高度化等により、数値計算によって波浪情報を得ることも可能となってきた。しかしながら、その計算精度の問題もあって、実際に来襲する波浪の実態を明らかにするには、波浪の観測が最も有効である。

国土交通省（2000 年 12 月以前は運輸省）港湾局・各地方整備局・北海道開発局・沖縄総合事務局（以下では「国交省港湾局」と記す）、国土交通省国土技術総合政策研究所（以下では「国総研」と記す）および独立行政法人港湾空港技術研究所（以下では「港空研」と記す）では、関係機関と相互協力の下、1970 年以来、波浪の定常観測を開始し、現在、全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS、以下では「ナウファス」と記す）を構築し、日本沿岸における波浪の常時観測、観測データの集中処理・解析を行っている。ナウファスでは、国交省港湾局の出先機関である各港湾事務所が観測の実施および観測機器の維持管理を、国総研が全国の港湾事務所で観測されたデータのリアルタイム収集・解析および web サイト等による情報公開を、さらに港空研が国総研で収集した観測データの品質チェックおよび各種統計解析を担当している。

本稿では、日本沿岸における波浪の常時観測の現状として、国交省港湾局の波浪観測であるナウファスを例に、波浪観測の実施や目的、ナウファスで用いられている波浪観測機器、ナウファスのデータ収集システムや観測データ処理などを紹介する。

2. 波浪観測の実施

2. 1 波浪観測の目的

国交省港湾局では防波堤の港湾施設の整備など港湾事業を実施しているが、波浪はそれらを実施する上で、最も重要かつ基礎的な情報である。

国交省港湾局が実施している波浪観測の目的としては、大きく以下があげられる。

(1) 海洋・沿岸開発計画の策定：

港湾内の静穏度を高め、必要な港湾荷役の可能な割合（荷役稼働率）を達成するため、防波堤などの外郭施設の適切な配置を計画するなど。沖合における常時波浪の波高・周期・波向の出現頻度が必要となる。

(2) 海洋・沿岸の施設（構造物）の設計：

防波堤など港湾・海岸構造物の設計に用いる設計波（波高・周期・波向）を設定するなど。長期間における高波浪時の波浪データが必要となる。

(3) 施工計画（稼働率算定）：

防波堤などの建設、埋没した航路の浚渫などの海上工事を、どの季節にどのくらいの確率で実施できるか（稼働率）を事前に把握し、施工法や施工計画を検討するなど。長期間の常時波浪情報が必要となる。

(4)海上工事や荷役の安全管理（可否判断）：

波浪の実況やそれに基づく予測によって海上工事を続けるか止めるか、港湾荷役が可能か否かなどを判断し、安全で効率的な海上工事や荷役を実施するなど、波浪の実況値や予測値などが必要となる。

(5)災害対策・被災原因の究明：

構造物が被災した際の波浪条件（被災原因）を特定するなど。

(6)その他：

波浪の長期的な出現特性（波候統計）の解明、波浪の予報精度の向上、船舶の航路計画・設計外力の設定など。

また、上記の目的を達成するため、対象海域の何処で観測するかが重要となるが、その際に考慮すべき点としては以下があげられる。

(1)対象海域の波浪状況を適切に代表する地点であること（特に対象としている港湾や港湾施設にとって最も危険となる主波向の波浪を観測できること）。

(2)防波堤など波浪に影響を及ぼす既設構造物が観測地点の近傍にないこと。

(3)碎波帯よりも沖側であること。

(4)設置場所の海底地形が複雑でないこと（海底地形が平坦もしくは緩やかで流れの影響をあまり受けないこと）。

(5)航行船舶や漁船の影響を受けたり、航行の邪魔にならないこと（ケーブル切断事故などを避けられること）。

(6)各種関係者（海上保安庁、港湾・海岸管理者、漁協組合など）との調整や合意が可能なこと。 など。

このように波浪観測の実施にあたっては観測したい波浪を明確にした上で、可能な限り適切な場所を選定することが重要である。

2. 2 波浪観測機器

波浪の観測方法は、機器を用いない目視観測に始まり、現在では様々な形式の観測機器によって、波浪の観測が行われている。ここではナウファスで採用されている（いた）波浪観測機器を中心に紹介する。

波浪観測では、観測機器を用いて、海面（水位）変動や、海底における水圧変動、水粒子速度などを時系列的に計測している。通常 20 分間を 1 観測の区切りとし、20 分間の観測記録から波別解析法（ゼロアップクロス法など）によって個々波を定義した後、波浪諸元（有義波、最高波、平均波）を算出している。なお、これらの算出方法については、参考文献¹⁾などを参照されたい。

(1) 水圧式波高計（PW : Pressure Wave gauge）

海底に設置した機器に備わった水圧センサーによって、海面の上下動に伴う海底での水圧変動を計測し、得られた水圧変動から伝達関数を用いて間接的に海面変動を推定する。水圧式波高計では海底での水圧変動を計測するため、海底まで波の影響が伝わらない深海波（波長が水深の 2 倍以下の波）は計測できない。また、構造が単純で安価という長所があるが、周期の短い波に対する感度が悪い（観測精度が周期に依存する）という欠点もあった。しかしながら、港湾技術研究所で開発した水圧から表面波への換算手法²⁾などにより、実用化されるようになった。

現在、波浪観測において水圧式波高計を単独で用いることは少ないが、後述する超音波式波高計や海象計などにその機能を実装することで、超音波による海面計測が出来なかった場合の補完的な役割を担っている。

観測項目：海底での水圧変動

特 性：・構造が単純で安価である。

- ・碎波などで海中に気泡が混じっても測定可能だが、水圧変動が海底に伝わらない深海波は計測できない。

- ・ダイバーによる機器の設置やメンテナンス上の制約から、設置水深は概ね 50m 以浅。

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-B-3

田辺中島高潮観測塔における気象海象観測

京都大学 准教授

馬場康之

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

田辺中島高潮観測塔における気象海象観測

Field Observations using the Observation Tower at the Mouth of Tanabe Bay

馬場 康之

Yasuyuki BABA

1. はじめに

白浜海象観測所は、京都大学防災研究所が持つ隔地施設の一つで、観光地として名高い白良浜のある和歌山県西牟婁郡白浜町に位置している。白浜海象観測所は白浜町堅田に観測所を構え、定点観測施設として田辺湾湾口に田辺中島高潮観測塔（写真-1）が設置されている。

白浜海象観測所が現在の場所に設置されたのは1966年であるが、観測活動は1961年から開始された。その始まりは、わが国最初の海洋観測塔として設置された旧観測塔（白浜海洋観測塔）であり、田辺湾の南、通称田尻クズレの鼻の沖合300m、水深約5mの岩礁に設置された（写真-2）。観測塔設置の背景には、船舶や浮標等による海洋観測では、測定点が不正確になることや、船舶、浮標の動揺による計測精度への影響があり、定点における精度の高い連続観測体制が必要になったことが挙げられる。

旧観測塔の設置により、気象（気圧、雨量、気温、風向・風速など）及び海象（水温、潮位、波浪、流向・流速など）に関する項目が連続的に観測できるようになった。観測塔の立地として田辺湾が選ばれた理由としては、紀伊水道を通じて外海と面し黒潮の影響を受けること、また台風の経路にも近いことなどがある。これらの現地観測データを基に、沿岸海洋における諸過程を大気や陸面との相互の関連性から捉えること、および沿岸海域における災害の抑止軽減のために台風などの暴風に伴う高波浪、高潮などの諸問題に関する観測研究が行われてきた。

本稿は、田辺湾に設置された定点観測施設である田辺中島高潮観測塔において経年的に実施されてきた現地観測活動について述べ、旧観測塔における観測成果についても合わせて示す。次の第2節では、白浜海象観測所における観測活動についてこれまでの経緯を踏まえて概説する。続く第3節では旧観測塔を含む観測活動で得られた主な成果を示し、第4節では現在運用中の田辺中島高潮観測塔で展開されている観測結果について述べる。



写真-1 田辺中島高潮観測塔



写真-2 旧観測塔（白浜海洋観測塔）



写真-3 観測船「海象」

2. 白浜海象観測所における観測活動

白浜海象観測所は、定点観測施設として田辺湾湾口に田辺中島高潮観測塔、および観測船「海象」(写真-3)を用いて、田辺湾を中心とした沿岸域における気象及び海象現象を総合的に観測しており、風向・風速計、日射計、気温・湿度・気圧計、波高計、水温計(水深5m, 10m)等の項目が常時観測されている。

図-1 は、旧観測塔および現在運用中の田辺中島高潮観測塔の位置を示したものである。先に述べたように、旧観測塔は田辺湾湾口部に近い水深5m 地点に設置され、定点観測施設として気象および海象の総合的な観測が始まり、旧観測塔設置当初は、気温、風向、風速、水温、塩分、潮位および波浪の連続観測が行われた。旧観測塔が設置された1961年頃は、現地観測に必要な計測器の開発が必要な時代であった。また、計測器を動作させるための電力も十分ではなかったことから、計測器の省電力化や計測を間欠的に実施する方法などの開発が行われた。また、流速については計測器の制約のために他項目のような連続観測データを得ることができず、田辺湾の海水交流の研究も流れの実測データに基づくものではなく、水温、塩分濃度の記録などから間接的に議論されていた。

旧観測塔設置当初に実施された観測活動の一つに「海面境界過程の観測」がある(鳥羽ら, 1971)。この観測は1968年から1969年にかけて2回実施され、旧観測塔と塔の影響を避けるために設置されたポールを用いて風・波・波の崩れ・海水滴を中心に計測が行われた。この観測では、風速計には三杯風速計、波高計には容量式波高計が使用され、海水滴の計測には試薬フィルムを用いた手動インパクトを用いて、異なる高度における海水滴の採取を実施している。

観測所の設置後、観測船が配備されたことにより、定点における連続観測体制に加えて、湾内における移動観測により現象を空間的に捉えることができるようになった。観測塔における連続観測データから得られた現象の一つに、水温のJump(急変)が挙げられる。特に、数日から10数日の間隔で発生する水温のJumpが確認され、紀伊水道で見られる水温フロントとの関係が指摘された。この観測では、フェリーの海水取り込み時に水温を計測することで、大阪湾内から紀伊水道におよぶエリアでの水温が計測された。これらフェリー航路沿いの水温計測結果と田辺湾の観測結果を合わせて、紀伊水道全域の海況変動および水温フロントの変動と田辺湾における水温変動がよい対応を示すことが示されている(吉岡ら, 1977)。

流速計測については、流速計への生物付着や係留系の揺れの影響などによる問題が指摘されていたが、超音波式流速計の導入により、弱い流れも正確に捉えることができ、高速でのサンプリングが可能となったことから、流れの周期別変動成分についても求めることができるようになった。このような計測器の整備が進んだ結果、1981年



図-1 田辺中島高潮観測塔、旧観測塔の位置

調査観測兼清掃船による有明海・八代海 の環境調査について

九州地方整備局 沿岸防災対策官

奥村靖浩

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

調査観測兼清掃船による有明海・八代海の環境調査について

The environmental research of the Ariake sea and the Yatsushiro sea by an investigation observation and sea surface cleaning vessel

国土交通省 九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所
熊本新港分室（有明・八代海海洋環境センター）

奥村 靖浩

Yasuhiro OKUMURA

1. はじめに

有明海・八代海は閉鎖性の浅海域であり、阿蘇の火山灰土等の微細な土砂が全域に堆積し、独特の干潟性の海岸が形成されている。また、主として大規模な河川等から輸送される様々な物質の循環作用や周辺海域からの栄養塩類の供給等から豊かな生態環境を有し、古くから「宝の海」として、活発な水産活動が展開されてきた海域である。

しかしながら近年、漁獲量の減少、魚種の変化、水質の悪化、浮泥の堆積等様々な環境問題が生じ、深刻化した閉鎖性海域での環境問題に対して総合的な海域環境の保全・再生が求められていた。

このような中、国土交通省 九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所では、総合的な海洋環境整備事業の一環として、調査観測兼清掃船（以後、環境整備船という）「海輝」を導入し、平成 16 年度から海面の浮遊ゴミを回収する海面清掃に加え、定期的な海域環境のモニタリングである定期環境調査を実施してきた。また、平成 24 年度からは新たな環境整備船「海煌」を導入し、2 隻の環境整備船により海面清掃と定期環境調査を実施している。

本稿では、先ず環境整備船の役割及び性能を示し、次いで現在実施している定期環境調査の概略、トピック事項等について紹介する。

2. 「海輝」及び「海煌」の業務内容

「海輝」及び「海煌」が所属する熊本港湾・空港整備事務所の海洋環境整備事業の主な担務海域は、図 1 に示す有明海、八代海及び橘湾であり、合計約 3,728km²の海域を担当している。（表 1 参照）。

「海輝」及び「海煌」は、それぞれ熊本港及び八代港を基地港として、定期環境調査や海面清掃等に従事している（表 2 参照）。

表 1 海輝及び海煌の担務海域とその面積

海域名	有明海	八代海	橘湾
面積	1,700km ²	1,253km ²	775 km ²
合計	3,728km ²		



図 1 「海輝」及び「海煌」の担務海域

表2 「海輝」及び「海煌」の業務内容

	業 務 内 容
定期環境調査	有明海・八代海の海域環境の長期的な変動を把握すること及び環境特性（未解明事象）の解明に資することを目的として実施している。
海面清掃	船舶航行の安全を確保し、海域環境の保全を図るため、海域（港湾区域、漁港区域を除く）において、海面に漂流する流木等のゴミの回収を実施している。

3. 調査観測兼清掃船「海輝」「海煌」の性能

熊本港湾・空港整備事務所で保有している2隻の環境整備船「海輝」、「海煌」の概略性能を表3に示す。

「海輝」は平成15年11月、「海煌」は平成24年4月に就航した双胴船であり、ともに調査観測用として、採水器、採泥器、高性能音響測深機、潮流観測装置等を装備している（写真1参照）。

表3 熊本港湾・空港整備事務所が保有する環境整備船

船名	海輝（かいき）	海煌（かいこう）
外観写真		
就航年月	平成 15 年 11 月	平成 24 年 4 月
船種	調査観測兼清掃船	調査観測兼清掃船
船型(材質)	対称型双胴船(耐食アルミニウム合金)	非対称型双胴船(鋼)
総トン数	99 トン	195 トン
大きさ	全長 27.0m,幅 9.0m,深さ 2.8m,吃水 1.2m	全長 35.0m,幅 11.0m,深さ 4.1m,吃水 2.2m
回航速力	27.6 ノット (ウォータージェット方式)	14.8 ノット(固定ピッチプロペラ)
係留水深	3 m (基地港…熊本港－ 3 m泊地)	4 m (基地港…八代港－ 4 m泊地)
ゴミ回収能力	コンテナ(7.5 m³)×2 個=15 m³ (概ね水深 4 m以上の水域に対応)	コンテナ(7.5 m³)×4 個=30 m³ (概ね水深 5 m以上の水域に対応)
主要設備	＜調査観測機器：常時搭載＞ グラブ型採泥器(スミス・マッキンタイヤー型採泥器) 遠隔自動採水器 (LW10141、ケーエンゾニアリング) 自動水質測定装置 (YSI-6600、ワイエスアイ・ナテック) 水中調査装置 (ROV) 高性能音響測深器 (HS-600F、古野電気) 超音波式多層流速計(Workhorse600kHz、RDI)	
	＜調査観測機器：必要時に搭載＞ 柱状採泥器 (コアサンプラー) 泥層密度計測装置	
	＜海面清掃用機器＞ ・多関節クレーン、塵芥回収装置など	＜海面清掃用機器＞ ・多関節クレーン、塵芥回収装置 ・小型ゴミ回収船「むつごろう」など

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-B-5

漂砂・海浜変形の調査と解析について

鳥取大学 教授

黒岩正光

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

漂砂・海浜変形の調査と解析について

Field Investigation and Analysis of Sediment Transport and Morphodynamics

黒 岩 正 光

Masamitsu KUROIWA

1. はじめに

我が国における海岸工学発祥の地は鳥取県であると言われている（石原ら，1975）．終戦後の食糧難から鳥取県沿岸にある豊富な水産資源が注目されていたが，多くの港湾は砂浜近くにあったため漂砂による航路埋没に悩まされていた．また，当時は海岸侵食，河口閉塞の問題も多くあり，このような問題を解決するために，鳥取県では，昭和 22 年に漂砂対策協議会，昭和 24 年に漂砂対策調査委員会を設置し，京都大学を中心として，海洋学，気象学，地質学，河海工学の研究者や技術者が，海岸侵食，航路埋没，河口閉塞などの漂砂・海浜変形問題に関する調査研究に着手した．これが我が国における海岸工学に関する調査研究のスタートであり，鳥取県が海岸工学発祥の地と言われている所以である．この委員会では，港湾埋没防止（泊漁港，網代港），河口閉塞防止（由良川），海岸侵食防止（皆生海岸），飛砂防止（網代港）等の 4 つの部会が設置された（図-1.1）．当時，深浅測量，底質調査，波浪観測，浮標追跡による流況調査などが実施され，同時に，模型実験，数理的な解析等も実施された．例えば，泊漁港では港内の静振観測，皆生海岸の侵食対策として防砂突堤に関する模型実験などが実施された．これら調査研究を経た後，皆生海岸では侵食対策として 14 基の突堤が設置された．詳細な調査研究の内容は，野田（2006）の「漂砂対策調査報告書」の復刻版に説明されている．石原ら（1975）によれば，昭和 25 年頃にも，新潟，富山各県において調査研究の成果が公表された．一方，米国において昭和 26 年第 1 回海岸工学会議が開催されている．その 3 年後の昭和 29 年 11 月に神戸市において海岸工学研究発表会が開催された．

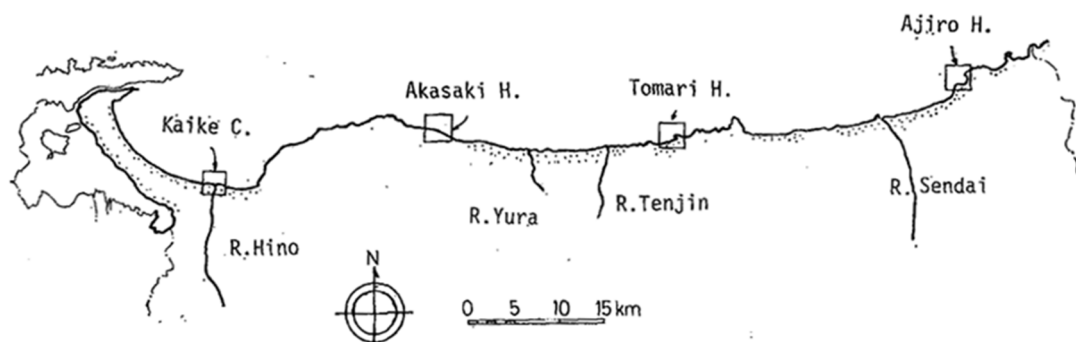


図-1.1 鳥取県海岸の概要（石原ら，1975）

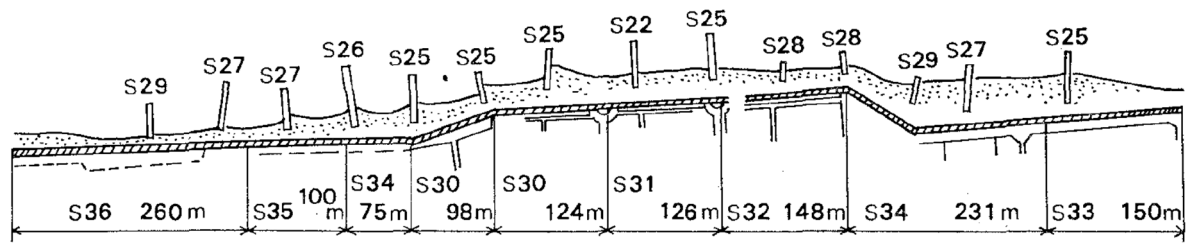


図-1.2 皆生海岸の構造物築造の経過（石原ら，1975）

漂砂・海浜変形問題は鳥取，新潟および富山から始まり，昭和30年～40年頃から全国的に海岸侵食が激化していったと言われている．このようなことから，漂砂・海浜変形のみならず漂砂の外力となる波，流れの基礎的研究も精力的に実施されてきた．

昭和53年～58年度の6年間にわたり実施された「海浜変形予測手法の開発に関する研究プロジェクト」の一環として，茨城県大洗海岸において波浪，流れ，漂砂，海浜変形などの総合現地観測が大々的に実施され，その成果が「海岸環境工学」（堀川，1985）にまとめられた．さらに，「漂砂環境の創造に向けて」（1994）では，漂砂の外力，漂砂機構，海浜変形モデルなどがまとめられ，2000年には土木学会より「海岸施設設計便覧」が出版され一連の漂砂・海浜過程の調査方法がまとめられている．これまでの水工学夏期研修会においては，「漂砂観測」（橋本，1977），「最近の現地観測とその成果について」（服部，1981），「深浅測量データを利用した海浜地形変化の解析法」（宇多，1984），「漂砂調査の実施例」（水野，1988）「海岸堆積物の分析に基づく流砂系における土砂動態実態の推定」（佐藤，2001），「広域土砂収支図作成の試み」（栗山，2001）「Xバンドレーダを用いた海浜地形の連続観測」（武若，2010）など，漂砂・海浜過程に関する調査，解析例などが紹介されている．しかしながら，沿岸域の開境界空間でなおかつ不規則性の強い相手（自然現象）は手強く，未だ海浜変形の数値モデルで的確に表わせない部分は多く，我々が目指す海浜変形予測はまだ確立されていないのが現状である．

著者はこれまで3次元の海浜変形数値モデルの開発研究を行ってきた．3次元モデルに含まれる各種係数を実験室規模での波，流れ，地形変化のデータから同定することは比較的容易であるが，それらの係数を用いて現地での海浜変形の予測は，スケール効果，境界条件や波浪条件の設定などの理由から定量的に的確に予測評価するのは難しい．とは言え，実務において3次元海浜変形予測モデルは使用されている．ただし，必ず，対象地域の現地データを用いて，再現計算により漂砂量係数の同定を行い，将来予測，対策案の検討などを行う．したがって，出来るだけ多くの現地データの収集が必要である．

本講義集では，海浜変形数値解析と関連づけて，これまでの漂砂・海浜変形調査研究を概括し，さらに最新の観測および測量技術を紹介し，最後に今後の課題について述べる．

2. 漂砂・海浜過程調査の概要

海岸の土砂移動形態は岸沖漂砂と沿岸漂砂に大別される．岸沖漂砂による地形変化は短期におこる現象で可逆的である．高波浪時には汀線が後退し，沖合に沿岸砂州が形成され，静穏時には砂州の消滅とともに，前浜にバームが形成される．構造物周辺の局所洗掘，河口閉塞，港湾内の堆砂などは，1時化から1シーズンで比較的短期に発生する場合があります．波による土砂の打ち込み，長周期波による浮遊砂輸送など，波運動そのものによる場合があります．一方，沿岸漂砂は，波向きによってその向きが変化するが，卓越する波向きに

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-B-6

国内外における沿岸域災害調査

東京大学 教授

田島芳満

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

国内外における沿岸域災害調査

Post-Disaster Survey along Foreign or Domestic Coasts

田島芳満
Yoshimitsu TAJIMA

1. はじめに

「海岸・港湾に関する調査・観測の技術」をテーマとした水工学に関する夏期研修会(Bコース)の開催にあたり、国内外の沿岸域における災害調査に関するテーマで話題提供をさせていただくこととなった。私自身は、土木学会、海岸工学委員会からの派遣調査団の一員として参加した Hurricane Katrina や Cyclone Sidr、台風 Haiyan に伴う高潮災害調査や、海岸工学委員会を事務局として運営した東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの一員として参加した津波災害調査、また、西湘海岸における高波に伴うバイパス道路の崩落災害の調査や、スリランカにおけるインド洋津波による津波堆積物の調査など、国内外における種々の沿岸域災害調査を経験させていただく機会を得てきた。

いずれの調査においても、調査時の環境や被害の実態、それに対応した調査計画や内容など、それぞれに異なる特徴があり、現場において臨機応変に調査計画や内容を修正していくことが重要であると感じたが、その一方で、それぞれの調査で共通する部分も多くあり、過去の災害調査事例を参照しながら事前に調査計画を立て、十分な準備をすることは、効率的で漏れの少ない災害調査を遂行する上で重要であると考えた。また、過去の災害事例との比較をする上でも、同様の基準に基づき調査を実施することはきわめて重要であると言える。この様な観点から、特に津波に対する調査については、調査内容に関するマニュアルも整備されている（たとえば Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), 1998, 今村, 1998, 首藤ら, 2007）。本稿では、これらのマニュアルの内容も参照しつつ、自身が経験した調査を中心とした具体例も交え、沿岸域災害調査を行う際の留意点や、情報の活用方法について整理する。また、特に最近の災害調査で非常に有用な知見を与えている被災時の画像データの分析に関する調査事例についても紹介したい。

2. 調査に向けた準備

2. 1 調査チームの編成

調査チームの編成は、国内、海外の違い、災害の特徴、調査の目的等を勘案しながら決める必要がある。まず第一に、被災地における救助、救援、復旧活動の妨げにならないこと、調査隊員の安全を最優先にすることを念頭に置く必要がある。たとえば東日本大震災時における調査(The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group, 2011)では、まず被害が大きかった岩手県、宮城県、福島県の3県には少人数の先遣隊が入り、緊急性の高い痕跡調査などの実施時期や規模などを検討するための広域的な情報収集を実施した。これと並行して、浸水被害の規模や程度が比較的小さく、痕跡が早期に消失してしまう可能性が高い3県以外の地域については、オンラインで調査地点や調査結果を共有しながら、各地における調査を順次実施した。次に被害の大きかった3県については、まず、痕跡の消失が早い浸水高や打ち上げ高、氾濫域を把握することを目的とし、領域別に分けた6チームを編成した。この6チームの調査目的は津波による氾濫特性の定量的な把握が主であったため、海岸工学を専門として過去の災害調査の経験がある研究者を中心にチームが編成された。土木学会では、発災直後に「東日本大震災特別委員会」が設置され、上記の津波痕跡調査を含む専門調査に加え、様々な分野の専門家による連携が必要な総合調査も第一次、第二次、第三次と目的を変えながら実施している。

海外における調査においては、調査の頻度が限られ作業効率がより重視される。また、調査地点へのアクセス、

現地における諸々の情報収集、治安や被災地住民へのヒアリングなど、現地の研究者や技術者による協力が必要不可欠になる。たとえば Hurricane Katrina や Sandy による北米での災害調査では、現地研究者や技術者による詳細な実態調査が既に実施されていたため、日本からの調査団の目的は、たとえば大学やアメリカ工兵隊、FEMA などの関係機関を訪問してヒアリング調査を実施することや、特徴的な氾濫被害状況に着目して、わが国における現状の防災対策との違いを検証することなどであった。このため、Katrina の災害調査(柴山ら, 2006)では海岸工学、水工学を中心としたメンバー、Sandy による災害調査(国土交通省・防災関連学会合同調査団, 2013)では、専門の異なるメンバーと国土交通省の職員が合同で調査を実施し、異なる視点にたった情報収集を行った。

一方、Cyclone Sidr に伴うバングラデシュにおける災害調査(柴山ら, 2008)や、台風 Haiyan に伴うフィリピンにおける高潮・高波災害調査(Tajima ら, 2014)では、高潮や高波の実態把握も十分ではなかったことから、バングラデシュではバングラデシュ工科大学(BUET)の研究者との、フィリピンではフィリピン土木学会 (PICE: Philippine Institute of Civil Engineers)との合同調査という形をとり、現地研究者や技術者とともに氾濫の実態を定量的に捉えることを第一目的とした調査を実施した。バングラデシュ、フィリピンともに、被災地での宿泊場所や移動手段、食糧が限られていたこと、また現地のメンバーとともに行動することで必然的にチームの人数が大きくなることから、日本側からの参加メンバーはいずれも 6 名と人数を限定する必要があった。また調査内容もまずは緊急性の高い痕跡調査に主眼が置かれたため、海岸工学を専門とする災害調査の経験者でチームを編成した。ただし、同行した PICE の専門家は、海岸工学に加えて風工学、構造物、環境など異なる分野のメンバーがチームに加わった。専門分野の異なるメンバーでヒアリングを交えながら被災当時の状況を議論し、定量的な計測とデータの整理・分析は経験豊富な日本側の専門家が行うという形となり、効率的な役割分担ができていた。また、大学をはじめとする研究機関からの専門家だけでなく、フィリピン全国の治水や災害復旧を実施する公共事業道路省(DPWH: Department of Public Works and Highways)の技術者が同行してくれたため、現地における主要な機関への立ち入りやヒアリングなど、非常にスムーズに調査を実施することができた。

2. 2 事前の情報収集

国内外を問わず、被災地では移動手段や宿泊場所、食糧、水など、通常時とは大きく環境が異なるため、事前の情報収集とそれに応じた準備が重要である。特に、先に現地に入った調査隊からの情報は貴重であり、様々なネットワークを通じて、宿泊場所、移動手段、食糧、水などの状況に加え、電力の利用可否、気候、治安、衛生状況、連絡手段などの情報を可能な限り事前に得ておくことが重要である。また海外での調査においては、ビザ取得や安全などに関する渡航情報や GPS などの計測機器の持ち込みに関する制限、税関をスムーズに通過するために公的文書の準備などを含め、相手国カウンターパートによるサポートも必要不可欠になる。ただし、被災国のカウンターパートは様々な対応に追われていることから、書類準備を含めたこれらのサポートを依頼する際には、依頼ルートを一本化するなどして、できるだけ効率よく最低限の依頼で済ませる様に配慮する必要がある。

また、特に痕跡高さなどの調査を実施する際には、特に海外では調査時の海面水位から痕跡高を計測することが多いため、調査期間中の潮位や海岸線へのアクセスなどの情報が得られると効率的である。バングラデシュでは、海岸線まで自動車で到達することができず、バイクと運転手を雇って移動したこともあった。

また高潮や津波における沿岸災害では、外力場を俯瞰するために被害の大きかったところだけでなく、浸水被害のなかった地点を含めて氾濫状況の全容を把握することも重要となる。このため、可能な範囲で事前に高潮・高波の数値解析を実施し、その特性を把握したうえで調査を実施すると効率的である。一方で、特に限られた情報の基で実施した数値解析では、現地における実際の氾濫浸水特性とは異なる場合も想定されるため、偏った先入観が調査内容、結果に影響を及ぼすことがないように、十分に留意する必要がある。

その他の情報として、現地で携帯 GPS を用いることにより、場所の記録は可能であるが、調査をしながら地形や条件と痕跡高との位置関係を俯瞰的に把握することが非常に重要となるため、GPS には可能な限り情報量の多い電子地図をインストールしておくこと、また、予定している調査地点の衛星画像や航空写真、地図を事前に入手

水工学シリーズ 14-B-7

現場観測データに基づく甬島浦内湾の 副振動特性について

鹿児島大学 教授

山城 徹

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

現場観測データに基づく甕島浦内湾の副振動特性について

On characteristics of secondary undulation in Urauchi Bay of Koshiki Islands using *in situ* observational data

山城 徹

Toru YAMASHIRO

1. はじめに

副振動は、海峡や湾、港湾などで起こる、周期数分から数10分の海水面の振動現象を言い、九州においては冬から春先にかけて振幅の大きい副振動がしばしば発生している¹⁾。長崎湾で発生する振幅の大きい副振動は別名「あびき」とも呼ばれ、1979年3月31日の「あびき」は長崎検潮所で最大全振幅279cmを記録した(図-1)^{2),3)}。1988年3月16日には1979年に次ぐ大きな「あびき」が発生し、このときの「あびき」は最大全振幅217cmを記録した⁴⁾。最大全振幅が100cmを超える大きな副振動は、北九州の下関、南九州の油津、大泊、枕崎、薩南諸島の種子島、西之表、南西諸島の中之島、名瀬、奄美の検潮所においても観測され、九州本土から南西諸島にかけての外海に面した地点は大きな副振動の発生域であることが報告されている¹⁾。また、振幅の大きい副振動は九州西岸域から南西諸島の広い範囲で同時に発生することが多い。例えば、2004年2月29日～3月1日の場合は、九州南岸の油津、大泊、枕崎、九州西岸の長崎、佐世保、厳原、薩南諸島の種子島、南西諸島の中之島において副振動が発生し、特に枕崎と大泊ではそれぞれ160cm、143cmの最大全振幅が観測された(表-1)¹⁾。2009年2月24日～25日の場合は、2004年2月29日～3月1日のときよりもさらに振幅の大きい副振動が広範囲で発生し、長崎では157cm、熊本県天草では160cm、上甕島浦内湾では290cm、枕崎では141cmの最大全振幅が報告された(表-2)⁵⁾。

副振動の発生原因としては、前線の通過、高気圧や低気圧の張り出しなどに伴う微気圧振動^{1)~3)}、⁶⁾や台風

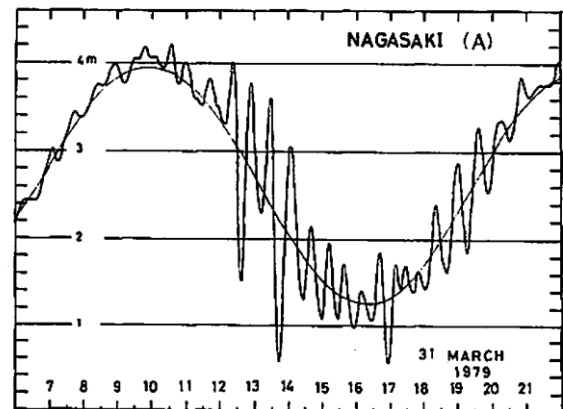


図-1 1979年3月31日に長崎県検潮所で測定された水位変動²⁾

表-1 2004年2月29日～3月1日に発生した副振動の周期と最大全振幅¹⁾

地点	起時	周期	最大全振幅 (cm)
下関	2004/3/1 5:01	101	21
門司	2004/3/1 6:08	143	17
博多	2004/3/1 10:19	128	57
佐世保	2004/3/1 0:33	90	57
長崎	2004/3/1 0:56	35	137
口之津	2004/3/1 1:22	47	20
対馬	2004/3/1 2:22	11	23
厳原	2004/3/1 1:03	13	46
福江	2004/3/1 2:16	20	46
日向白浜	2004/3/1 4:33	32	39
油津	2004/3/1 1:11	22	100
鹿児島	2004/3/1 1:00	31	53
枕崎	2004/3/1 0:51	20	160
大泊	2004/3/1 0:47	11	143
西之表	2004/3/1 0:37	16	115
種子島	2004/3/1 1:31	12	100
中之島	2004/2/29 23:51	6	97
名瀬	2004/2/29 23:54	16	62
奄美	2004/3/1 0:29	18	72

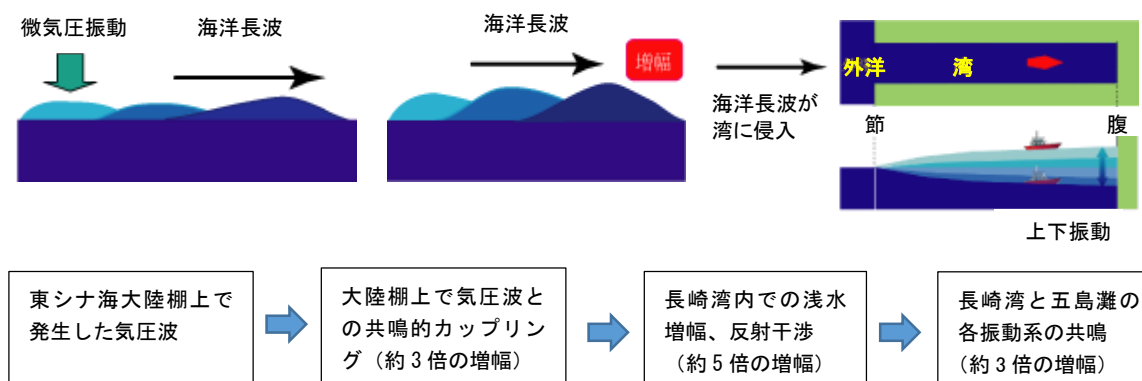


図-2 東シナ海における副振動発生の様式図（長崎地方気象台 HP から）

1)が指摘されている。微気圧振動による副振動の発生については、例えば、Hibiya and Kajiura⁶⁾が1979年3月31日に長崎湾で観測された最大全振幅279cmの「あびき」は東シナ海上を約110km/hで東進する振幅3hPaの微気圧波によって引き起こされたことを数値実験から示している。また、その発生過程については、大陸棚上での気圧波との共鳴的カップリングによる海洋長波の増幅（約3倍）、長崎湾内での地形的な増幅効果と反射・干渉による増幅（約5倍）、長崎湾の固有振動系と五島灘領域の振動系との共鳴による増幅（約3倍）など数段階の増幅効果が関連していることを指摘している（図-2）。台風による副振動の発生については、例えば、志賀⁷⁾が、2005年9月4日に種子島で観測された最大全振幅146cmの副振動と2004年9月7日に博多湾で観測された最大全振幅89cmの副振動の事例解析を行っている。前者は台風0514号によって生じた長周期波の伝播によって発生した副振動であり、後者は台風0418号による吹き寄せから開放されて発生した副振動であることを推察している。このように、九州本土から南西諸島で発生する副振動の原因については、長崎湾で1979年3月31日に大きな「あびき」が発生して以降、さまざまな湾を対象にして研究がなされている。

浦内湾は、鹿児島県本土西方40kmにある甬島列島3島の1つ、上甬島の南西に位置し、南に開く湾口を通して東シナ海につながっている（図-3）。この湾は荒天時には避泊地として利用されるほどの静穏な海域である一方で、冬から春先にかけては周期数分から数10分、最大全振幅100cm以上の大きな副振動が頻繁に発生する海域であることも古くから知られていた。2004年3

表-2 2009年2月24～25日に発生した副振動の周期と最大全振幅⁵⁾

地点	起時	周期	最大全振幅 (cm)
長崎	2009/2/24 23:34	29	157
福江	2009/2/24 23:19	19	81
油津	2009/2/25 4:14	23	75
甬島	2009/2/25 8:30 ～8:40	14	290
天草下島	2009/2/25 9:10	10	160
枕崎	2009/2/24 23:27	12	141
種子島	2009/2/25 2:07	14	85
中之島	2009/2/25 9:46	5	153
名瀬	2009/2/25 3:18	19	82
奄美	2009/2/25 2:45	15	78



図-3 上甬島浦内湾の位置と湾の形状

古文書・津波堆積物が示す世界最大規模の 津波の実態と対応策

琉球大学 教授

仲座栄三

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

古文書・津波堆積物が示す世界最大規模の津波の実態と対応策

Written documents and Tsunami Deposits Reveal the world Biggest Tsunami

in Ryukyu Islands of Japan - Disaster mitigation against huge tsunamis

仲 座 栄 三

Eizo NAKAZA

1. はじめに

人類は、地球が動いていることを認めるのに 2000 年もの歳月を必要とした。2011 年 3 月 11 日に発生した大津波の規模は、1000 年に 1 度程度の頻度で発生する大津波と言われている。歴史上数千年もの歳月を経て科学は大いに発展してきたものの、人類の生存を支える基盤、地殻の動きを予測するという一見容易に思える地震予知は、その予知に対して何らの貢献もできなかった。

科学において、ものの見方が固まると、もはやそれ以外の方法論をもって物事の解釈を行おうとする試みは異端とされてしまう。しかも、固まった方法論が壁にぶつかると、それを乗り越えるための方法が次々と追加され、さらなる完成域へと誘導されていく。「もはややるべきことはなくなった」天動説の末期に、科学者が得意とするその手法を素人が眺めてみると、その様は実に複雑で難解であった。人々は、「もう少し易しいものであってほしい」と神に願ったのであった。

ガリレイは、地球の存在が特別なものでないことを、数々の観測を通じて確信するに至った。彼の気付いた論理に従えば、観測される事々が容易に紐解け、ごく自然に説明される。また、そのことを通じて新たに解明しなければならないことも次々と現れてくる。未解明の部分がはっきりと照らされ、科学者の好奇心はいやがおうにも掻き立てられるのである。しかし、彼はその感動を人々と共有することはできなかった。彼の主張を理解し、地球が無数の銀河の中の一銀河の一惑星にすら過ぎないとまで予見した者は、社会の風紀を乱すものとして処刑に付されたのであった。

科学における大発見は、いつも従来の概念を突き破る形で現れている。その発見は、従来の考え方の延長線上ではなく、思いもかけなかったところに見出されることが常である。しかし、我が身を振り返ってみると、常に、従来の支配方程式の下にせつせと働いている自分を見出す。「これではいけない」と方向性を変えてみても、やはり同じことを繰り返している自分に気づいてしまう。

3.11 大津波による大災害を目の当たりにした海岸工学者は誰しもが忸怩たる思いに浸った。自らを振り返ってみると、津波に対して、あまりにも無知であったと言わざるを得ない。沖縄における最大規模の大津波の遡上高さをおおよそ 5m~10m 程度と予測し、その規模でさえ大きいと感じていたのである。沖縄地方では、津波の遡上高 20m~40m を示す記録や痕跡、そしてそれらを明らかにする研究も存在した。その事実をも知ってはいた。だが、その事実を広く他の地域にも適用させるには知識と自信が足りなかったと反省せざるを得ない。

日本の東北地方で起きた大津波の実態は、日本中に教訓として伝えられている。遠く離れた沖縄においても、それは我が身のこととして受け止められている。そのことは誰もが知っておくべき事実である。東北の

教訓がこうして受け止められている事を鑑みれば、沖縄地方で発生した世界最大規模の津波と言われる大津波の実態をも、一つの教訓として、日本中にそして世界に向けて広めなければならないし、また学ぶ必要もあろう。かくして、本話題を水工学夏季研修会の1テーマと位置づけることには、それ相応の意味と価値があると言える。

本研修で述べることは、1771年に、琉球諸島の宮古島地方と八重山地方に甚大な津波災害をもたらせた明和津波の実態についてであり、これに対する最近の調査結果についてである。明和津波の災害の様子をつぶさに記録している古文書によれば、津波の遡上高はおおよそ85m(二十八丈)にも達したと記されている。この記述はいやがおうにも人々の目に留まった。いまでもってしても想像を超えるこの津波の遡上高さは、専門家のみでなく、一般市民をも巻き込んで一つの論争へと発展したのであった。

2. 明和の大津波に関する研究の歴史概略と論争

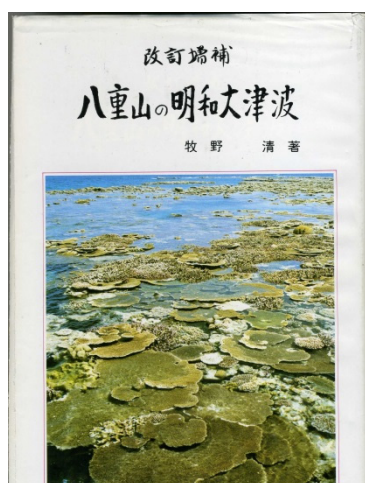


図 - 1 牧野清著
八重山の明和大津波¹⁾



図 - 2 牧野清氏が明らかにした
津波石の分布¹⁾

対して、めまぐるしいほどの展開が認められる。宮古島において、新たな文献「御問合書」(1988)が見出されたことも、さらにこの世代の研究を盛り上げた。

牧野が主張した最大遡上高85m肯定説に対し、加藤、木村、河名らは、それぞれの立場で、古文書の伝える数値に疑義を投じると共に、牧野が示

石垣島及び宮古島で保存されていた古文書には、1771年(乾隆36年3月10日)に発生した大津波(いわゆる明和の大津波)による災害の様子が克明に記録されている。古文書「大波時各村乃形行書」は、石垣島で最大の津波遡上高がおおよそ85m(二十八丈)あるいは75m余(二十五丈余)に達していたことを伝えている。また、「御問合書」は宮古島で11.5m(三丈五尺)に達したことを伝えている。

郷土史研究家であった牧野は、古文書が伝える85mを肯定的に捉え、それを裏付ける物証として、独自に調べ上げた津波石(津波によって陸上に打ち上げられたと推測される巨石)の分布を示した(1968, 改訂版: 1981)。牧野の著書「八重山の明和大津波」は、世に大きなインパクトを与えた。これが、「明和の大津波研究の父」と呼ばれる所以となっている。牧野によって石垣島の海岸に点在する「津波石」の存在が広く世に知られることとなった。明和の大津波に関しては、その名称を「八重山地震津波」他とする場合もある。しかしながら、本論では、牧野清氏に敬意を表し、以下「明和大津波」と呼ぶことに統一する。しかし、単に明和津波とする方が良いと判断される場合にはそのように記すこととした。

1980年代には、加藤、木村、河名ら、琉球大学の研究チームによって、津波石に付着したサンゴ化石年代測定に基づく津波発生年の研究が盛んに行われている。これらを第二世代の研究と呼ぶことができよう。特に、加藤が進める研究と河名が進める研究とは、津波石の起源や発生年に



図 - 3 大波時各村乃
形行書¹⁾