

紹 介

ブイ式海底津波計の紹介

中田 健嗣 *1・西 新三郎 *2

要 旨

気象庁は、2012年度に東北地方太平洋沖の日本海溝東側に3基のブイ式海底津波計を整備した。これにより、日本海溝付近で発生する津波を、既存の観測網に比べて場所によっては10分程度早く捉えることが可能になり、2012年12月から津波監視への活用を開始している。2013年10月26日に発生した福島県沖の地震では、発生した津波を沿岸に到達する前に捉え、観測の有効性が確認された。

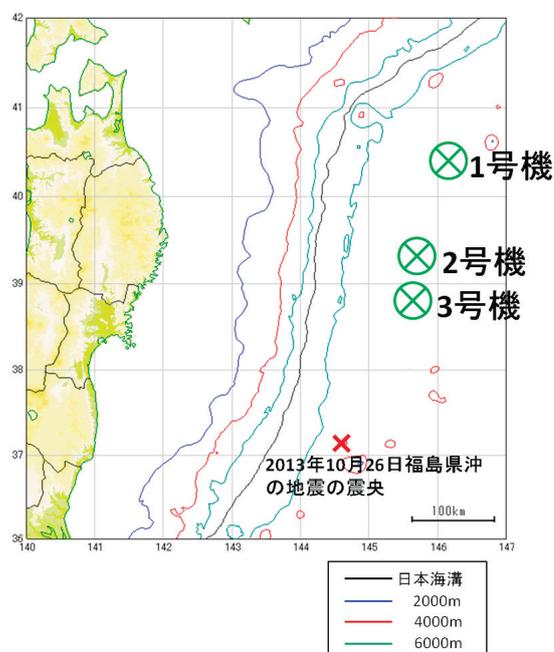
1. はじめに

気象庁は、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波被害の甚大さに鑑み、当時発表した津波警報の内容及びタイミング等を検証し、2013年3月、津波警報の改善を実施した(気象庁、2013a)。この津波警報改善の一環として、沖合の津波観測網をより充実させ、津波をいち早く沖合で捉えて津波警報の更新に活用すべく、気象庁は2012年度に東北地方太平洋沖の日本海溝東側(海溝軸外側)に3基のブイ式海底津波計(以下、特に断らない限り海上・陸上に設置の全ての機器を含めて、本津波計という)を整備した(第1図、第1表)。本報告では、第2章で本津波計の整備に至る経緯、第3章で本津波計の概要、第4章で設置場所の検討及び海上での設置作業、第5章で津波の監視と観測データの実例について紹介する。

2. 整備に至る経緯

気象庁は、東北地方太平洋沖地震による津波被

害の甚大さに鑑み、当時発表した津波警報の内容及びタイミング等を検証し、人命を守る防災情報としての津波警報を今後どのように改善すべきか



第1図 ブイ式海底津波計の設置場所

*1 地球環境・海洋部海洋気象課(現 気象研究所地震津波研究部)

*2 地球環境・海洋部海洋気象課

第1表 ブイ式海底津波計の設置場所

	緯度	経度	設置水深	津波情報発表地点名称	WMO番号
1号機	北緯40度23分59秒	東経146度11分45秒	5126m	岩手沖380kmA	21346
2号機	北緯39度18分02秒	東経145度45分05秒	5247m	岩手沖320kmA	21347
3号機	北緯38度48分17秒	東経145度41分18秒	5195m	宮城沖350kmA	21348

について検討するため、2011年6月から9月にかけて有識者及び関係防災機関等からなる勉強会を開催した。同勉強会における指摘や提言、一般から頂いた意見を踏まえ、技術的課題に対する改善策をとりまとめるとともに、2013年3月、津波警報の改善を実施した。この津波警報改善では、津波の予測のための地震規模の推定に関わる地震波の解析技術や観測網の充実、津波警報の発表方法の改善などとともに、沖合津波観測網の充実が必要であるとされた。特に、東北地方太平洋沖地震において津波警報の更新に活用され観測の有効性が実証されたGPS波浪計より、さらに沖合の海底津波計も活用し、いち早く沖合で津波を捉えるべく、沖合津波観測網の更なる強化・活用を進める必要があるとされた（気象庁、2013a; 気象庁、2012a）。

海底津波計の整備については、東北地方太平洋沖にケーブル式海底津波計を約150地点設置するという非常に大規模な「日本海溝海底地震津波観測網」計画が防災科学技術研究所により進められている（防災科学技術研究所、2012; 防災科学技術研究所、2013）。しかし、大規模な計画のため運用開始は2015年の予定となっている。しかし、東北地方太平洋沖では依然、地震の規模に比べて津波が大きい津波地震や、正断層型のいわゆるアウトラーイズ地震の発生も懸念される（地震調査研究推進本部、2011; 地震調査研究推進本部、2013）ため、沖合津波観測網の充実を急ぐ必要がある。そのため、「日本海溝海底地震津波観測網」が構築されるまでの間、気象庁が沖合での津波観測機器を緊急に整備することとした。気象庁は、ケーブル式よりも迅速に設置ができ、かつ米国海洋大気庁（NOAA）で実績のあるDART方式のブイ式海底津波計を採用し、平成23年度第3次

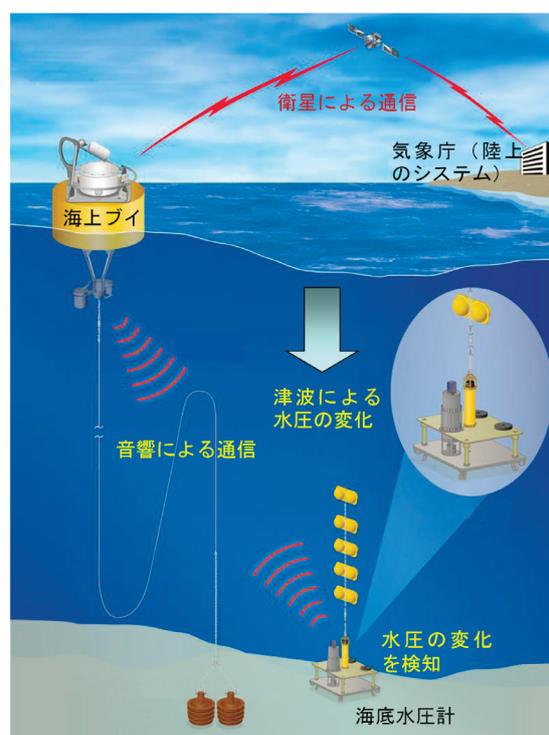
補正予算（気象庁、2011）により整備した。

3. 本津波計の概要

3.1 津波の観測

本津波計は、海底水圧計、海上ブイ、陸上のシステム等で構成される（第2図）。

本津波計で津波の高さを観測するためのしくみは次のとおりである。海底に設置した海底水圧計で圧力を計測する。海底で計測する圧力は、海底から海面までの海水（海水柱）の重さと相関がある。ただし、津波や潮汐のように水平スケールの大きい現象だけが海底での圧力変化を生じ、波浪等の水平スケールの小さな現象では圧力変化は生じない。津波が発生し、生じた海面の盛り上がりや海底水圧計の直上に到達すると、海水柱が高く



第2図 本津波計の構成

なり重さが増すため、海底での圧力が増す。そのため、その圧力を計測して海水柱の高さの増分に換算することで、海面での津波の高さを得ることができる。以後、この海水柱のデータを観測データという。

リアルタイムで津波を監視するため、本津波計では、海底水圧計の観測データを音響通信により海上ブイに伝送し、海上ブイからイリジウム通信衛星・陸上局経由で気象庁に設置した陸上のシステムに送る方式をとっている。本津波計は、STB (SAIC Tsunami Buoy) システムを基本とし、海上ブイの衝突防止灯の変更等日本周辺海域に設置するための変更を加えたほか、地震活動等総合監視システム (EPOS) へのデータ転送や本津波計の状態監視等の機能を追加している。STB システムは NOAA の DART II システムを米国 SAIC 社が改良したものであり、DART システムの 3 世代目にあたる (SAIC 社 (<http://www.saic.com/products/marine/tsunami-buoy/>); NOAA ①)。

(1) 海底水圧計

海底水圧計の外観及び構成は第 3 図のとおりである。海底水圧計は、水圧を計測する水晶振動圧力センサーのほか、津波の検出やデータの収集を行うためのデータロガー、海上ブイとの通信を行うための音響通信用モデム及び音響トランスデューサー、海底水圧計の傾斜を計測するための傾

斜計、バッテリー (リチウム 1 次電池) 等で構成されている。また、切り離しを行うための音響切り離し装置及び浮上用フロートを備えており、メンテナンスのため、海上からの指令によりアンカーを切り離して海底水圧計を回収することができる。

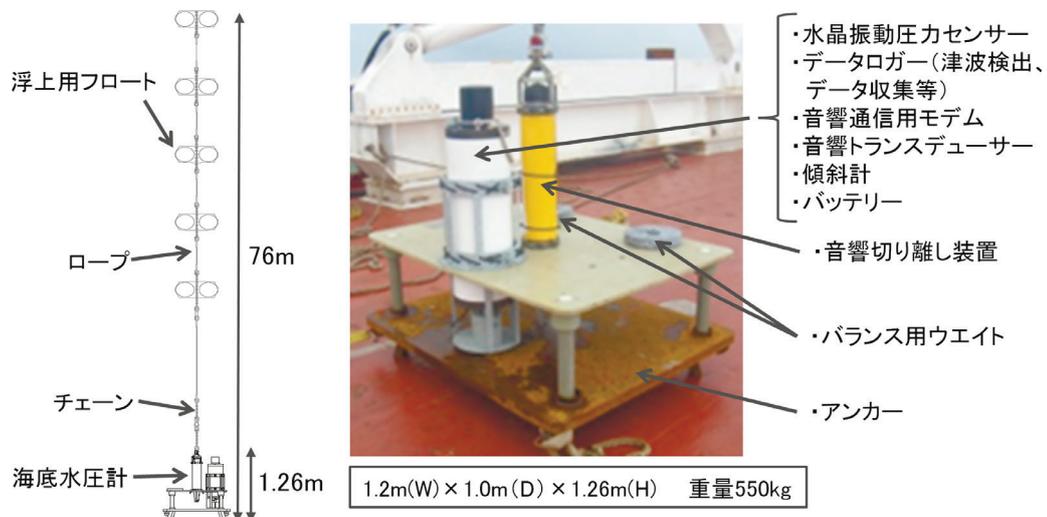
なお、水晶振動圧力センサーの分解能 (測定感度) は水深 6000m で津波の高さに換算して 1mm である (SAIC 社 (<http://www.saic.com/products/marine/tsunami-buoy/>))。

(2) 海上ブイ

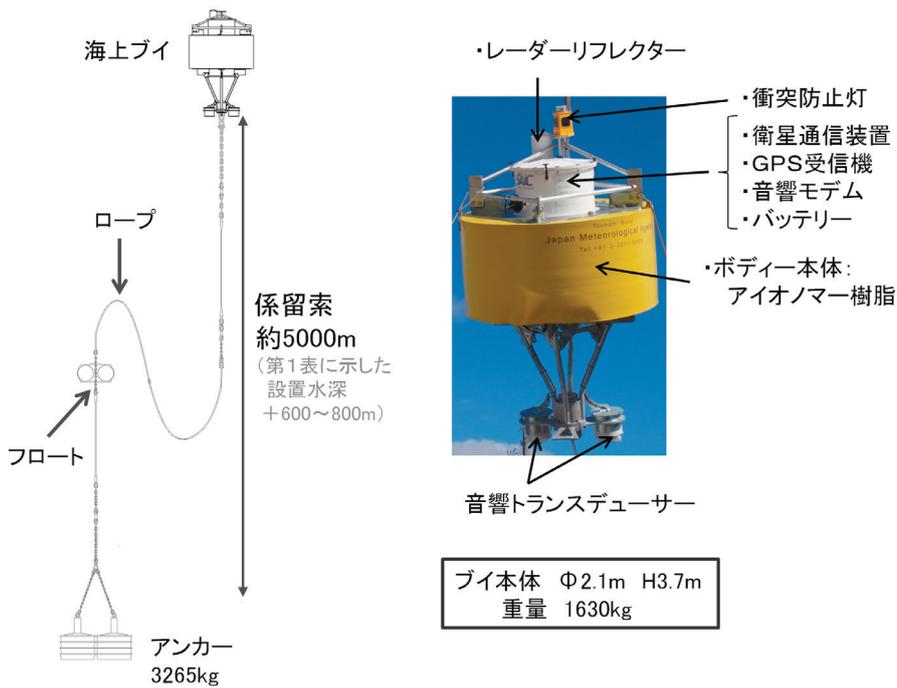
海上ブイの外観及び構成は第 4 図のとおりである。海上ブイは、観測データ等の通信のための衛星通信装置、海上ブイの位置を計測するための GPS 受信機、海底水圧計からの観測データを受信するための音響トランスデューサー及び音響通信用モデム、バッテリー (アルカリ 1 次電池) 等で構成されている。また、海上ブイを係留するための係留索とアンカー、船舶の衝突を防止するためのレーダーリフレクターや衝突防止灯を備えている。

(3) 陸上のシステム

気象庁に設置している陸上のシステム (津波データ収録処理システム) は、海上ブイからのデータ受信や海上ブイへの手動での指令の送信などを



第 3 図 海底水圧計の構成



第 4 図 海上ブイの構成

担う送受信サーバ，データの表示等を行うデータ処理サーバ，EPOS へのデータ転送とシステム状態監視を担う津波データフォーマット変換装置，データの 24 時間監視，本津波計の状態表示及び遠隔操作に使用する遠隔監視制御装置等で構成される（第 5 図）。

3.2 データの流れ

海底水圧計からの観測データは海上ブイの音響トランスデューサーで受信し，海上ブイの衛星通信装置からイリジウム通信衛星経由で米国アリゾナ州にあるイリジウム陸上局へ送られる。さらに陸上局で受信したデータは，インターネット通信網経由で気象庁内に設置されている気象データ交換システム（MDCS）の送受信サーバに送られ，速やかに地震火山部の EPOS に転送される。データの伝送を確実にを行うため，海上ブイでのデータの受信から陸上のシステムの送受信サーバでの受信まで，通信機器及び経路を二重化している。二つの経路のデータをそれぞれプライマリデータ，セカンダリデータと呼んでいる（第 5 図）。また，NOAA 等の海外の機関でも活用できるように，EPOS から気象情報伝送処理システム（アデス）

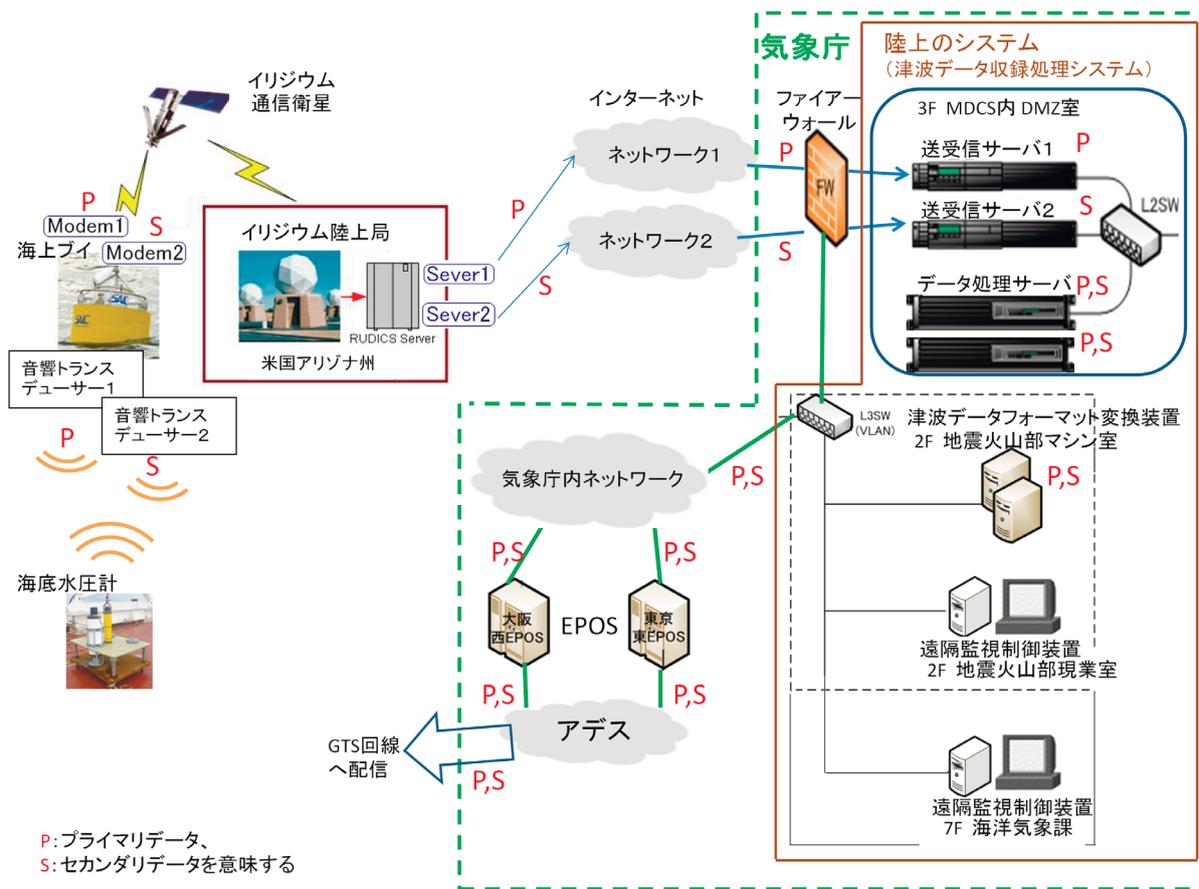
を介して全球通信システム（GTS）回線へもデータを送信している。

また，海底水圧計から海上ブイ経由で陸上のシステムへ観測データが自動で送信されるだけでなく，メンテナンス等のため陸上のシステムから手動で指令を送信し，海底水圧計や海上ブイのバッテリー電圧値，内部時計の値や各種パラメータ設定値の取得，再起動等を行うことができる。

3.3 観測データの送信モード

陸上からのケーブルで電源供給が可能なケーブル式海底津波計と異なり，本津波計はバッテリーだけで運用している。そのため，通常時と津波イベントモードの 2 種類の送信モードがあり，通常時は観測データの送信を効率化し，バッテリーを節約している。送信する観測データには，3 種類のサンプリングのデータがあり，本報告では次のように定義する。海底水圧計の水晶振動圧力センサーで 15 秒間隔に計測した値そのものである「15 秒値」，15 秒値の 4 個の平均である「1 分値」，15 分に 1 回，前述の 15 秒値データを取り出したものを「15 分値」としている。

津波を観測しない通常時は，海底水圧計から



第 5 図 陸上のシステム及び観測データの流れ

15 分値を 1 時間ごと（15 分値×4 個）に海上ブイへ送り、海上ブイからは蓄積されたデータ（15 分値×24 個）を 6 時間ごと（日本時間の 3 時半、9 時半、15 時半、21 時半）に陸上のシステムへ送信している（第 6 図 a）。

一方、津波を観測するための津波イベントモードでは、第一報、第二報で 15 秒値、第三報以降で 1 分値を送信する（第 6 図 b）。海底水圧計と海上ブイ間の音響通信は降水等の影響による音響雑音や、温度躍層による音波の反射等があり、通信が不調に終わる場合がある。そのため、第 6 図 b に示すようにデータ送信開始後 1 時間はデータを重複して送信している。また、並行して、1 時間ごとにそれまでの 2 時間分の 1 分値（1 分値×120 個）も重複して送信している（第 6 図 c）。

(1) 津波イベントモードへの移行

海底水圧計では常時 15 秒値を観測しており、過去 3 時間の観測データから外挿した値と最新の

観測データを比較し、その差がしきい値である 3cm（パラメータにより変更可能）を超えた場合に自動的に津波イベントモードへ移行する（詳細については、NOAA ②）。海底水圧計は、地震波により生じた海底水圧計や周辺の海底面の揺れ等も水圧の変動として記録する（NOAA ③）。そのため、津波が到達するより前に地震波による水圧変動により津波イベントモードに移行することが多い。津波イベントモードは約 4 時間続き、この間に到達する津波を 1 分値で観測する。

遠く離れた場所で発生した地震など、地震波の振幅が小さく自動的に津波イベントモードへ移行しない場合でも、津波の到達予想に合わせて、陸上のシステムから手動で指令を送信して津波イベントモードへ切り替えることができる。

(2) 観測データ形式

観測データの形式は、通常時用と津波イベントモード時用があり、さらに津波イベントモード時

用には第一報用，第二報以降用，1時間ごとデータ送信用の3種類がある．この他，海上ブイの位置情報用のデータ形式がある．主なデータのフォーマットを付録に掲載する（詳細は，NOAA ④）．

3.4 本津波計の状態監視

第5図に示したとおり，本津波計の状態は遠隔監視制御装置で監視している．第7図に監視画面の例を示す．海底水圧計の観測データの取得状況，EPOS へのデータ転送状況，海上ブイの位置，海

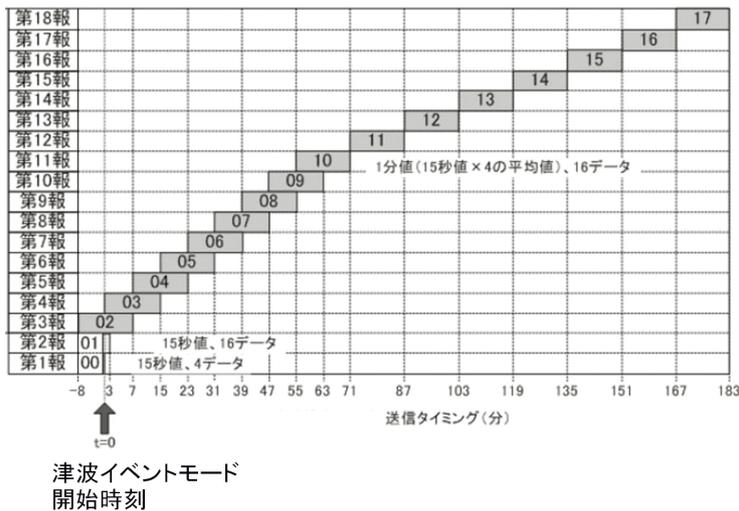
底水圧計及び海上ブイのバッテリー電圧値等を監視している．海上ブイの移動軌跡（第8図）や安定した運用に重要なバッテリー電圧の推移（第9図）については，視覚的に確認が容易な図やグラフを活用し，監視している．

また，本津波計の状態監視を担う津波データフォーマット変換装置には，本津波計のさまざまな障害を自動で検出する機能を搭載している．障害の度合いに応じて「重障害」，「警告」，「注意」に分類し，監視画面での音声や画面表示での喚起の

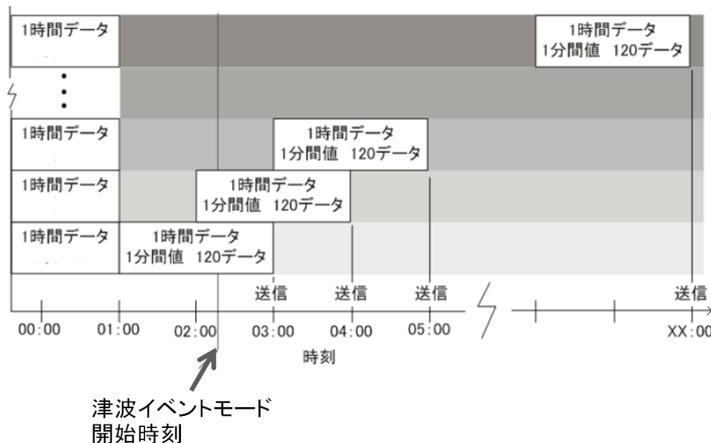
(a)

データ時刻(時、日本時間)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
3時半に送信するデータ																									(前日分)
9時半に送信するデータ																									
15時半に送信するデータ																									
21時半に送信するデータ																									

(b) 第一報，第二報で15秒値，第三報以降で1分値を送信するタイミング



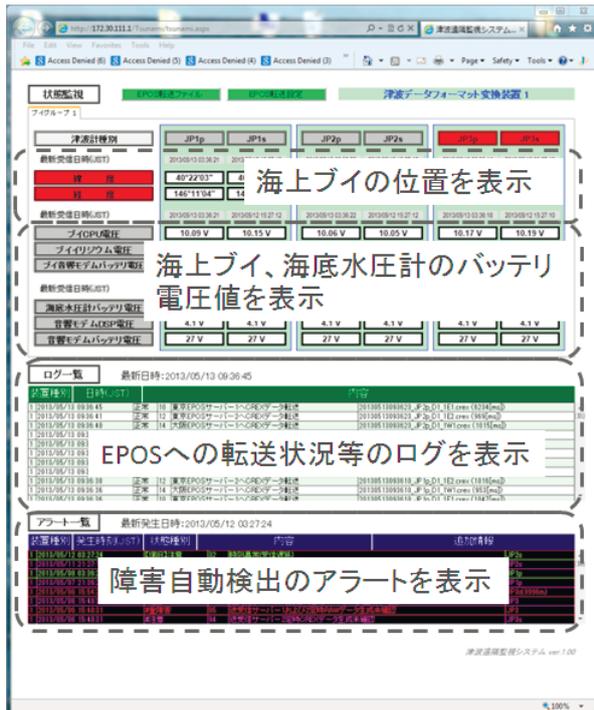
(c) 1時間ごとにそれまでの2時間分の1分値データを送信するタイミングの例



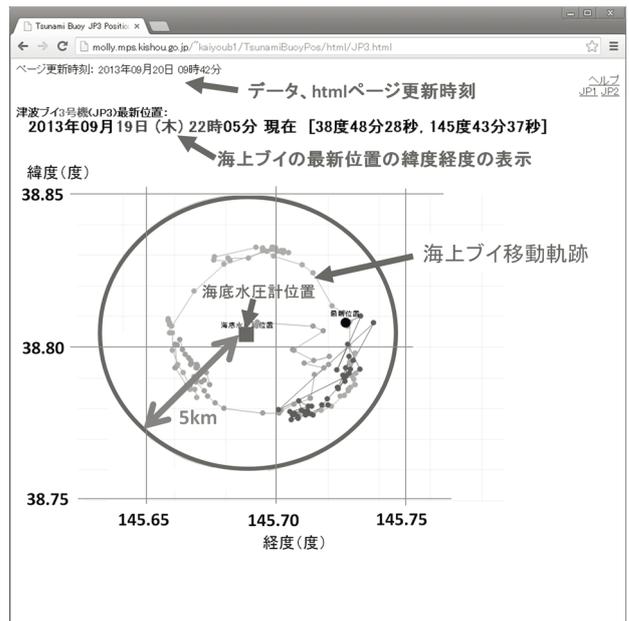
第6図 データ送信タイミング

(a) 通常時, (b), (c) 津波イベントモード時

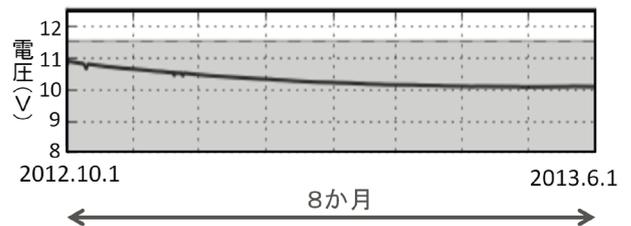
ほか、担当者へのメールによる報知機能を備える。例として、重障害のアラート一覧を第2表に示す。なお、重障害が発生した場合には、欠測期間をなるべく短くするため、迅速に予備機を設置するなどの対応を行うこととしている。



第7図 ブイ式海底津波計の状態監視画面（遠隔監視制御装置）



第8図 海上ブイ位置の移動軌跡（3号機の例）



第9図 バッテリー電圧値の推移の例（2号機プライマリ、海上ブイ制御部用の例）

第2表 重障害のアラート一覧

	アラート内容	アラート検知方法	目的
海上ブイの障害	ブイの流出	12時間ごとに得られる海上ブイの位置情報を監視し、海上ブイが正常な移動の範囲にあるかを確認する。	陸上のシステムへのデータの正常送信
伝送ネットワークの障害	送受信サーバ1及び2 定時RAWデータ生成未確認	通信衛星からのデータを正常に受信できている（送受信サーバにファイルが正常に生成されているか）を確認する。	陸上のシステムでのデータの正常受信
	送受信サーバ1及び2 ログイン失敗	海上ブイからのデータ受信元である送受信サーバの両系に正常にアクセスできるかを確認する。	EPOSへのデータの正常転送
	海部L3SW障害発生	予報部の国内基盤通信網へ接続しているL3SWを監視し、正常に動作しているかを確認する。	EPOSへのデータの正常転送
	津波データフォーマット変換装置1及び2障害発生	津波データフォーマット変換装置を遠隔監視装置から監視し、正常に動作しているかを確認する。	EPOSへのデータの正常転送

4. 設置場所の検討と海上での設置作業

4.1 設置場所の検討

海底水圧計及び海上ブイの設置場所は、主に以下の点を考慮に入れて検討した。

- ①海底水圧計で記録される地震波の影響をなるべく受けない津波の観測データを得るため、海溝軸付近で発生する地震の震源域から津波の伝播時間にして10分以上離れた場所とすること。
- ②海底水圧計と海上ブイ間の音響通信の障害となる地震による土砂舞い上がりや埋没を避けるため、地震活動の活発な海溝軸内側（西側）の領域を避けること。
- ③海底の水圧計センサーが温度にも依存するため、温度躍層等の水温変化のノイズが多い領域を避け、水深1000 m以上の場所であること。
- ④海上ブイを安定して係留できる、強い流れのない海域であること。

東北地方太平洋沖の海域は、南側が黒潮の続流域にあたり、海上ブイの設置に関しては厳しい環境である。当初は福島県沖を最南端の地点として設置する予定であったが、過去の海流の統計調査で強い流れの存在を確認したため、それよりも北側の宮城県沖を最南端として設置した。

4.2 海上での設置作業

海上ブイと海底水圧計1基の設置にかかる日数は、作業船への機材の積み込み及び事前試験等に約2日、最寄りの港から設置海域への往復に約3日、海上ブイの設置に約1日、海底水圧計の設置に約1日、合計で約7日間である。ただし、天候が不良の場合には待機等が必要となる。

現場における設置は次のように行う。

(1) 設置海域の測深及び流速流向の測定

まず、測深儀により設置海域の海底地形を測深して海底の傾斜等を調べ、海底水圧計の設置に問題がないことを確認して設置の目標とする正確な位置を決めるとともに、海上ブイの係留索の長さ等の微調整を行う。また、設置海域の流速・流向の鉛直分布を超音波ドップラー流向流速計

(ADCP)で調べ、海上ブイや海底水圧計の投入位置の参考とする。

(2) 海上ブイの設置

設置予定点より設置水深の約2倍の距離だけ流れの下流側に作業船を移動させ、海上ブイを投入する。設置予定点までゆっくりと作業船を移動させながら、係留索を適度な張力を保って繰り出し、最後にアンカーを投入する。アンカーが沈降するに従い変化する海上ブイの位置を作業船のレーダーにより監視する。海上ブイと係留索が安定するまで約1時間待機し、海上ブイの動きにより、アンカーが正常に着底したことを確認する。設置の様子を第10図に示す。

(3) 海底水圧計の設置

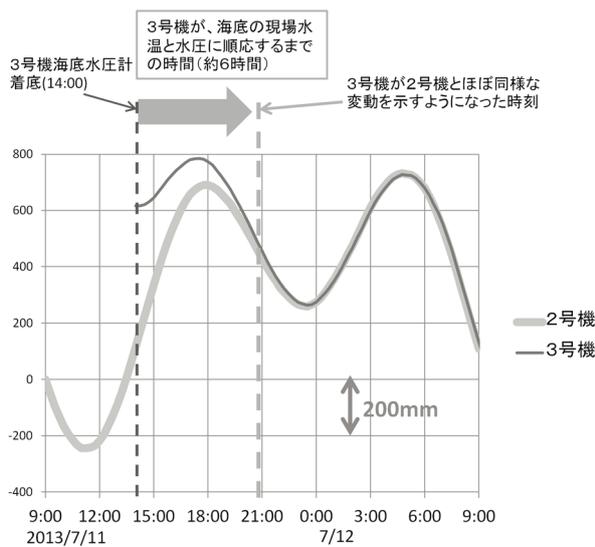
設置予定点より海底水圧計から浮上用フロートまでの距離の約6倍となる500m程度だけ流れの下流側に作業船を移動させ、浮上用フロートを投入する。その後、海底水圧計を設置予定点付近で投入する。応答確認用の水中音響通信装置を作業船から海中に吊り下げ、この装置で海底水圧計との距離を測定し、海底水圧計が想定した約80m/分の速度で沈降していることを確認する。着底後、海底水圧計内の傾斜計のデータで海底水圧計の設置姿勢を確認する。海底水圧計を中心とした半径約1kmの円周上に沿って作業船を周回させ、東西南北の複数地点で作業船に取り付けた水中測位装置で海底水圧計までの距離を測定し、設置地点の詳細な緯度経度を決定する。

(4) 観測データの確認

最後に、海底水圧計から海上ブイを経由して陸上のシステムまで6時間ごとの通常時の観測データが正常に受信できるかを確認する。また、観測データが正常であることを可能な限り天文潮位や他の地点のデータと比較して確認する。海底水圧計設置時のデータの実例として、2013年7月に現在の3号機を設置した際の観測波形を第11図に示す。設置直後の3号機の観測データは1号機や2号機と同様な変動となるまで設置後6時間程度かかっている。これは、海底水圧計の水圧セン



第10図 海上ブイ及び海底水圧計の設置作業の様子



第11図 海底水圧計設置後の観測データ

サーは温度にも依存するため温度補正する処理が入っているためである。これにより、正常な観測データを得るためには投入後、海底水圧計が海底の水温に同調するまで一定の時間が必要となる事が分かる。その後、5.1で後述する第12図のとおり、1号機、2号機、3号機の観測データはそれぞれ同様な変動を示している。

5. 津波の監視と観測データの実例

5.1 津波の監視

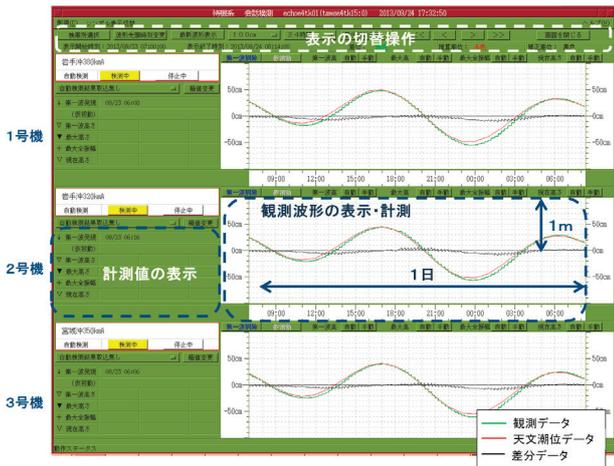
津波の監視は24時間体制で行っており、地震の発生により津波が予想される場合には、特に注意深く監視している。津波が観測された場合には、観測データから天文潮位データを差し引いた差分データで精度良く津波の到達時刻及び高さを計測する。さらに、海底津波計で観測された津波の高さを沿岸での津波の高さに換算し、発表中の津波警報の内容と比較して、予想よりも高い津波が推定される場合には津波警報を更新する。第12図は、EPOSのシステム画面の例である。なお、天文潮位 (Matsumoto *et al.*, 2000) と観測データはよく一致している。また、本津波計1号機、2号機、3号機の観測データはほぼ同じ変動を示しているが、これは1号機、2号機、3号機が外洋でほぼ同じ経度に設置されているためと考えられる。

5.2 津波観測の実例

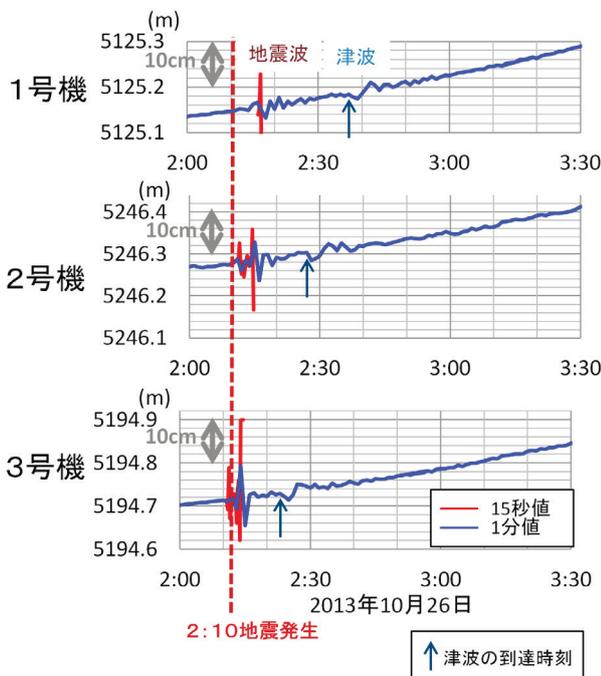
(1) 2013年10月26日の福島県沖の地震

本津波計で観測した津波の実例として、2013年10月26日の福島県沖の地震 (M7.1) (気象庁, 2013b) の際の1号機、2号機、3号機の観測データを第13図に示す。この地震の震央を第1図に

示している。02時10分に地震が発生し、本津波計にまず地震波が到達、その後、それぞれ3号機で02時23分頃（波の始まりの時刻）、2号機で02時27分頃、1号機で02時37分頃に約1cmの波が到達した。この波は地震火山部地震津波監視課で行った津波伝播シミュレーションの計算結果と比較（第14図）しても、到達時刻及び高さはほぼ一致しており、津波であると考えられる。



第12図 EPOSでの津波の監視



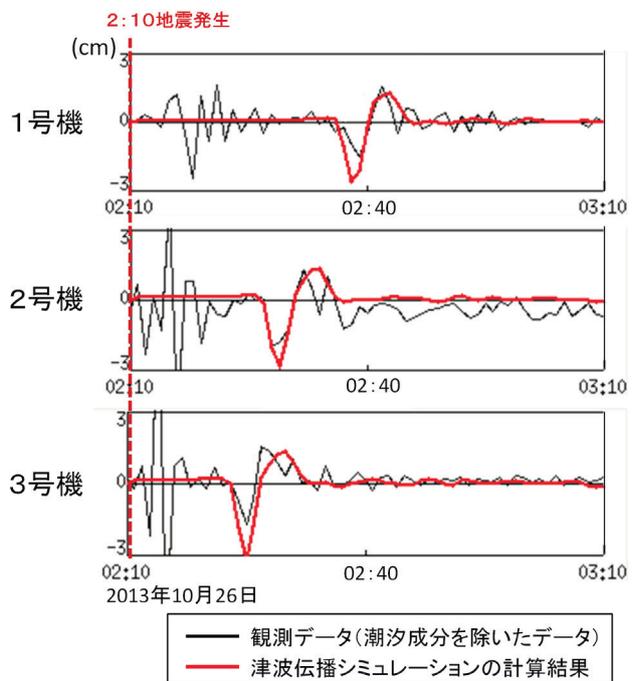
第13図 2013年10月26日福島県沖の地震(M7.1)の際のブイ式海底津波計の1号機、2号機、3号機の観測データ

本津波計は、地震波を捉え、3号機は02時11分30秒、2号機は02時11分45秒、1号機は02時17分0秒に正常に津波イベントモードへ切り替わり、その後、順次データを受信していた。ただし、1号機について、津波を観測する時間帯付近の第6図bの第5報及び第9報についてプライマリ、セカンダリともデータ抜けが生じていた。

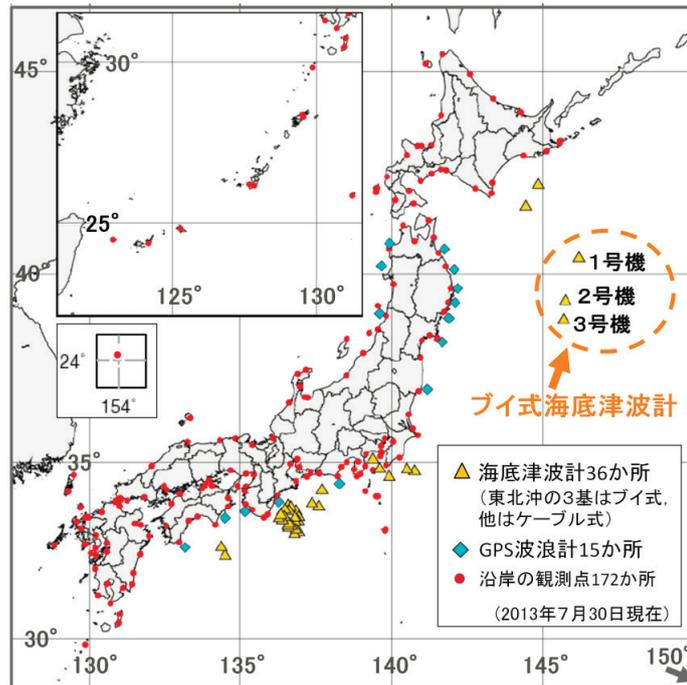
このことについて、約8分遅れにはなるが第6報及び第10報の重複するデータで補完されていたこと、2号機、3号機のデータは正常に受信していたことから、津波の監視に支障はなかった。データ抜けの原因は、海底水圧計と海上ブイ間の音響通信の不調によるものと考えられる。本津波計の特性として、このようなことが生じることについて留意しておく必要がある。

6. まとめ

本津波計3基の設置により、沖合の津波監視体制は36か所の海底津波計及び15か所のGPS波浪計の計51か所体制となった(2013年7月30日現在、第15図)。特に、東北地方太平洋沖の日



第14図 観測データと津波伝播シミュレーションの計算結果との比較



第 15 図 気象庁が津波監視に用いている津波観測点

本海溝付近で発生する津波の監視が強化された。既存の観測網に比べて場所によっては 10 分程度早く津波を捉えることが可能になり、2012 年 12 月から津波監視への活用を開始している(気象庁, 2012b)。5.2 で述べたとおり 2013 年 10 月 26 日の福島県沖の地震では沿岸に到達する前に津波を捉えることができ、本津波計による観測の有効性が確認できた。今後、津波を伴う巨大地震はいつ発生するか分からないが、気象庁での津波監視に重要なデータとして活用するために、安定した運用を続ける必要がある。

謝辞

ブイ式海底津波計の整備は、計画の段階から、整備、津波データの活用に至るまで大変多くの方々の尽力により行われました、ここに感謝いたします。

本報告の作成にあたっては、海底水圧計や海上ブイの運用、原稿の点検等で海洋気象課、海洋気象情報室各位に、特にシステム整備の内容については阿部正雄氏(現 東京管区気象台気象防災部)、榊原良介氏(現 地震火山部管理課)に、また地震火山部に関連した数多くの内容については地震

火山部管理課、地震津波監視課各位に多大なるご支援を頂きました。ここに御礼申し上げます。

参 考 文 献

防災科学技術研究所 (2012) : 日本海溝海底地震津波観測網の整備事業を開始。防災科学技術研究所 HP. (http://www.bosai.go.jp/press/2011/pdf/20120329_01.pdf, 2013 年 8 月 30 日参照)

防災科学技術研究所 (2013) : 日本海溝海底地震津波観測網の海底ケーブル陸揚げ 作業一般見学会を茨城県鹿嶋市で実施。防災科学技術研究所 HP. (http://www.bosai.go.jp/press/2013/pdf/20130731_01.pdf, 2013 年 8 月 30 日参照)

地震調査研究推進本部 (2011) : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について。文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会. (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11nov_sanriku/sanriku_boso_4_hyoka.pdf, 2013 年 8 月 30 日参照)

地震調査研究推進本部 (2013) : 2. 海溝型地震の長期評価の概要。文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会 HP. (<http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm>, 2013 年 8 月 30 日参照)

気象庁 (2011) : 平成 23 年度気象庁関係第 3 次補正予

算の概要. 気象庁 HP. (<http://www.jma.go.jp/jma/press/1110/21a/23hosei3.html>, 2013 年 8 月 30 日参照)

気象庁 (2012a) : ○特集 2 津波警報改善に向けた取り組み. 気象業務はいま 2012. (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2012/index.html>, 2013 年 8 月 30 日参照)

気象庁 (2012b) : プイ式海底津波計の津波警報への活用について. 気象庁 HP. (http://www.jma.go.jp/jma/press/1212/25a/dart_tsunami_keihou_katsuyou.html, 2013 年 8 月 30 日参照)

気象庁 (2013a) : 津波警報の改善について. 気象庁 HP. (http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tsunami_keihou_kaizen/index.html, 2013 年 8 月 30 日参照)

気象庁 (2013b) : ●特集 1. 平成 25 年 10 月 26 日福島県沖の地震. 平成 25 年 10 月 地震・火山月報 (防災編). 気象庁 HP. (<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201310.pdf>, 2013 年 11 月 25 日参照)

Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe (2000) : Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan. *J. Oceanogr.*, 56, 567-581.

NOAA ① : Deep-ocean Assessment and Reporting of

Tsunamis (DART®). NOAA HP. (<http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml>, 2013 年 8 月 30 日参照)

NOAA ② : Tsunami Detection Algorithm. NOAA HP. (http://nctr.pmel.noaa.gov/tda_documentation.html, 2013 年 8 月 30 日参照)

NOAA ③ : Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART) . NOAA HP. (http://www.ndbc.noaa.gov/dart/milburn_1996.shtml, 2013 年 8 月 30 日参照)

NOAA ④ : Description of Real-time DART System Messages. NOAA HP. (<http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/Pdf/dartMsgManual3.01.pdf>, 2013 年 8 月 30 日参照)

SAIC 社: SAIC Tsunami Buoy Systems. SAIC HP. (<http://www.saic.com/products/marine/tsunami-buoy/>, 2013 年 8 月 30 日参照)

略語

ADCP :	Acoustic Doppler Current Profiler (超音波ドップラー流向流速計)
DART :	Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis
EPOS :	Earthquake Phenomena Observation System (地震活動等総合監視システム)
GTS :	Global Telecommunication System (全球通信システム)
MDCS :	Meteorological Data Communication System (気象データ交換システム)
NOAA :	National Oceanic and Atmospheric Administration (米国海洋大気庁)
STB :	SAIC Tsunami Buoy

付録：データフォーマット

●海上ブイ位置情報データ

プライマリは日本時間の 22 時頃の海上ブイの GPS 位置情報を翌日 3 時半頃、セカンダリは 10 時頃の海上ブイの GPS 位置情報を 15 時半頃に、海上ブイから陸上のシステムへ送信する。フォーマットを以下に示す。

“D\$0 date time Lat N/S Long E/W gsec * checksum”

D\$0：メッセージ ID

date：月 / 日 / 年 (UTC)

time：時 : 分 : 秒 (UTC)

Lat：海上ブイの緯度 (度, 分)

N/S：北緯もしくは南緯

Long：海上ブイの経度 (度, 分)

E/W：東経もしくは西経

gsec：GPS からの位置情報を確定するまでに要した時間 (秒)

*：チェックサムデータ

checksum：* の前の全ての文字列の排他的論理和を 16 進数で表記したもの

電文例：

D\$0 06/18/2013 01:13:40 3917.4969 N 14546.9047 E 071* 58

●観測データ (通常時 (6 時間ごとの定時データ))

津波の観測のない通常時の観測データ (海水柱データ) 及び海底水圧計のバッテリー値を、海底水圧計から 15 分値を 1 時間ごと (15 分値 × 4 個) に海上ブイへ送り、海上ブイからは 6 時間ごと (日本時間の 3 時半, 9 時半, 15 時半, 21 時半) に蓄積されたデータ (15 分値 × 24 個) を陸上のシステムへ送信している。以下にフォーマットを示す。

“D\$1C/I date time batv1 batv2 batv3 ht1 ht2 ht3 ht4 tries * checksum”

D\$1：メッセージ ID

C/I：メッセージステータス, C: 破損, I: 破損なし

date：月 / 日 / 年 (UTC 時刻)

time：時 : 分 : 秒 (UTC 時刻)

batv1：海底水圧計バッテリー電圧, もしくはエラーコード

batv2：音響モデムの信号処理装置の電圧

batv3：音響モデムのバッテリー電圧

ht1... ht4：水柱データ (ミリメートル)

tries：送信回数

*：チェックサムデータ

Checksum：* の前の全ての文字列の排他的論理和を 16 進数で表記したもの

電文例：

D\$1I 06/18/2013 00:15:00 1094126 5246753 5246762 5246770 5246777 1* 3E

●観測データ（津波イベントモード時（第一報））

津波イベントモードに移行後の第一報データとして、海底水圧計から陸上のシステムへ、以下のフォーマットで 15 秒値の観測データを送信する。

“D\$2 C/I msg tt time ts time height dev1 dev2 dev3 tries * checksum”

D\$2 = メッセージ ID

C/I : メッセージステータス, C: 破損, I: 破損なし

msg : メッセージナンバー, (00) (第一報が 00)

tt : 津波イベントモード開始時刻

ts : データの最初の時刻

height : 水柱データ (ミリメートル)

dev1…dev3 : 最初のデータ時刻から 15 秒経過したごとの偏差データ (16 進数)

tries : 送信回数

* : チェックサムデータ

checksum : * の前の全ての文字列の排他的論理和を 16 進数で表記したもの

電文例 :

D\$2I 00 tt 08:19:45 ts 08:19:00 5246706

000e005a000801* 2C

●観測データ（津波イベントモード時（第二報以降））

津波イベントモードの第二報以降データとして、海底水圧計から陸上のシステムへ、以下のフォーマットで、15 秒値（第二報）、1 分値（第三報以降）を送信する。

“D\$2 C/I msg tt time ts time height dev1 dev2 dev3…dev15 tries * checksum”

D\$2 = メッセージ ID

C/I : メッセージステータス, C: 破損, I: 破損なし

msg : メッセージナンバー, (01-17) (第二報が 01, 第三報が 02... 第十八報が 17)

tt : 津波イベントモード開始時刻

ts : データの最初の時刻

height : 水柱データ (ミリメートル)

dev1…dev15 : 最初のデータ時刻から 15 秒 (第三報以降は 1 分) 経過したごとの偏差データ (16 進数)

tries : 送信回数

* : チェックサムデータ

checksum : * の前の全ての文字列の排他的論理和を 16 進数で表記したもの

電文例 :

D\$2I 01 tt 08:19:45 ts 08:19:00 5246706

000e005a0008ffabffd4000c002100680018ffd70003ffbefff50003001001* 2F

D\$2I 02 tt 08:19:45 ts 08:11:00 5246700

00020004000500050006000600080022fff1001c002f0002fffa0005001801* 7F

●観測データ（津波イベントモード時（1時間ごとデータ））

津波イベントモード時の1時間ごとデータとして、海底水圧計から陸上のシステムへ、以下のフォーマットで1分値を送信する。

“D\$3 C/I tt time ts time height dev1 dev2 dev3…dev119 tries * checksum”

D\$3 = メッセージ ID

C/I : メッセージステータス, C: 破損, I: 破損なし

tt : 津波イベントモード開始時刻

ts : データの最初の時刻

height : 水柱データ（ミリメートル）

dev1…dev119 : 最初のデータ時刻からの120個のデータ（1分間の平均を1つのデータとして、2時間分のデータ）（16進数）

tries : 送信回数

* : チェックサムデータ

checksum : * の前の全ての文字列の排他的論理和を16進数で表記したもの

電文例 :

D\$3Itt 05:51:15 ts 07:00:00 5247027

00000000ffff9ffff8fffbfff8fff9ffaffcffcfccffdfdfdfbffbffa8fff4fff2fff4fff1
 fff4fff2fff4fff2fff1ffeffeffeffedffedffebffe6ffe5ffe3ffe5ffe7ffe6ffe4ffe5ffe3ffe2ffe1ffe0ffde
 ffdeffdcffd9ffd6ffd4ffd2ffd4ffd6ffd5ffd5ffd4ffd2ffd1ffceffcaffcaffcaffc7ffc5ffc4ffc2ffc1ffc2ffc3
 ffc3ffc3ffc0ffbffbdffbdffbbffbaffb8ffb7ffb4ffaaffacffaaffabffacffabffaaffa9ffa7ffa5ffa4ffa2ffa1
 ff9fff9fff9bfff98fff94fff93fff93fff95fff94fff92fff91fff8fff8eff8cff8bff8aff87ff86ff83fff7fff7bff7aff7c01* 39