

平成17年度国土施策創発調査

「津波に強い東北の地域づくり検討調査」

東北における沖合津波（波浪）観測網の構築検討調査

報 告 書

平成18年3月

国土交通省 東北地方整備局
財団法人 沿岸技術研究センター

目 次

第1編 業務概要

- 1. 本業務の位置付けと業務目的 1-2
- 2. 本業務での検討内容 1-4

第2編 報告書

- 第1章 概要 2-2
 - 1. 本業務の位置付けと目的 2-3
 - 2. 本業務での検討内容 2-5

- 第2章 GPS波浪計広域配置計画の検討 2-8
 - 1. 津波防災情報の課題とGPS波浪計の活用 2-9
 - 2. システムの位置付け 2-17
 - 3. GPS波浪計広域配置計画の検討方法 2-19
 - 4. GPS波浪計広域配置計画の検討結果 2-27

- 第3章 即時浸水予測システムの構築の検討 2-46
 - 1. 即時浸水予測システムとは 2-47
 - 2. シミュレーションの条件 2-48
 - 3. 即時浸水予測システムの仕様 2-68

- 第4章 即時浸水予測システムの活用方策の検討 2-75
 - 1. 即時浸水予測システムの活用方策の検討方針 2-76
 - 2. 検討内容 2-76
 - 3. 想定シナリオの作成 2-83
 - 4. 防災担当職員のスキルアップ 2-83

- 第5章 GPS 波浪計システム構築の検討 2-85
 - 1. 基本仕様について 2-86
 - 2. GPS 波浪計について 2-86
 - 3. 陸上局 (GPS 基地局) 及び観測局について 2-87
 - 4. システムの検討について 2-87

- 第6章 GPS 波浪計設置方策の検討 2-88
 - 1. GPS 波浪計設置方法の概要 2-89
 - 2. シンカー係留方式の設置方法 2-89
 - 3. ダンフォースアンカー係留方式の設置方法 2-90

第3編 参考資料

- 第1章 第1回委員会資料 3-2
- 第2章 第2回委員会資料 3-67

第4編 計算結果出力及び技術資料

- 1. 気仙沼港 4-2
- 2. 宮古港 4-126
- 3. 資料 GPS波浪計の仕様 4-250
- 4. 資料 GPS波浪計の施工方法 4-281

第 1 編 業務概要

1. 本業務の位置付けと目的

東北地方整備局では、東北における広域的津波減災施策及び、津波防災行政の検討を目的として、「津波に強い東北の地域づくり検討調査」(平成17年度国土施策創発調査費)を実施している。その一環として、当業務を含む、2つの委員会からなる検討を行っている。

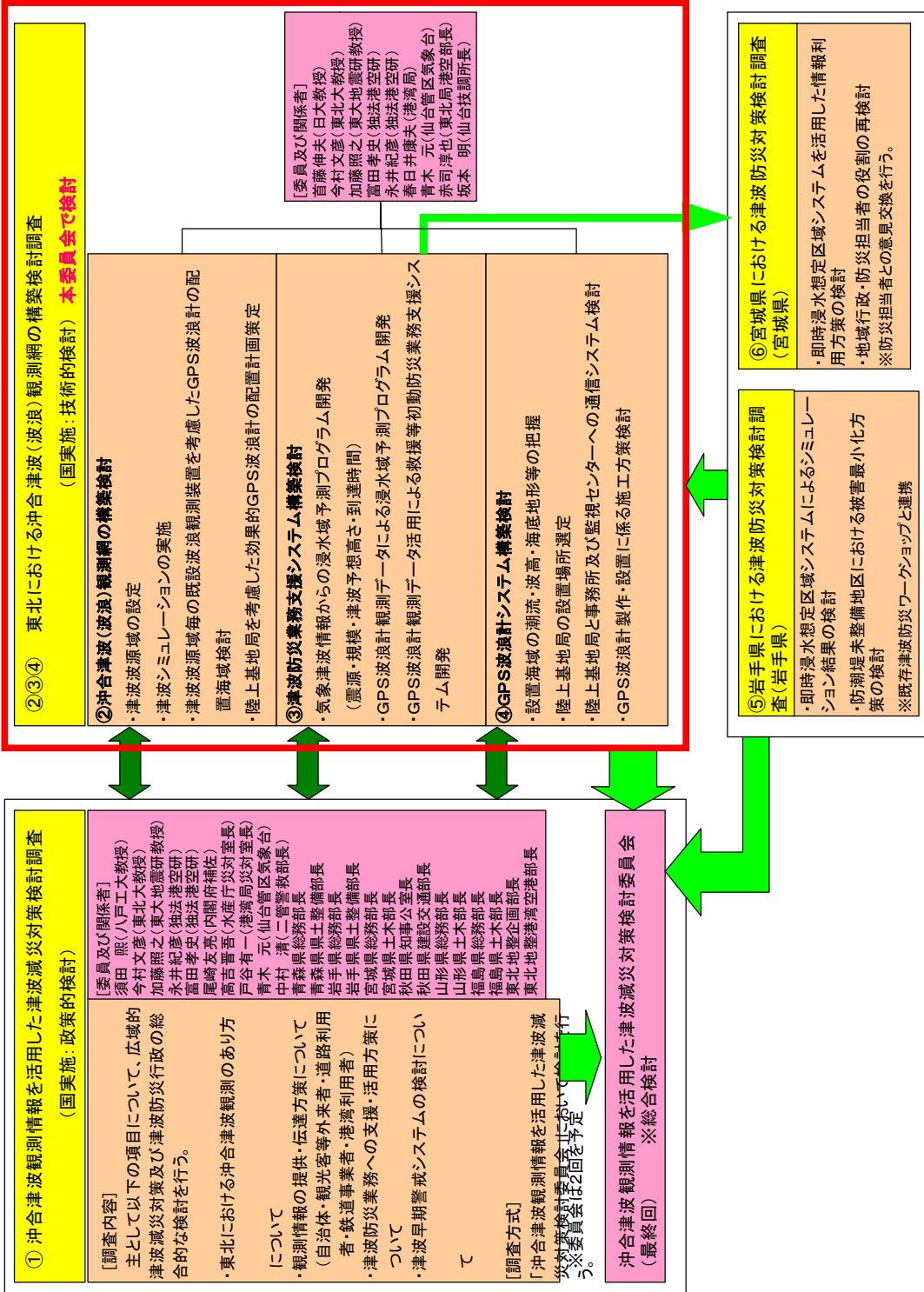
一つ目の委員会は、「沖合津波観測情報を活用した津波減災対策検討委員会」であり、そこでは沖合津波・波浪観測網の整備による広域的な津波沖合観測情報に基づく、情報伝達方法、予防避難対策・事後対策等における情報活用方を検討するものである。

二つ目の委員会は、本業務であるが、ここでは上記委員会と並立し、技術専門委員会という立場を取り、上記目的を達成するために、技術的な側面からの検討を行う「東北における沖合津波(波浪)観測網の構築検討委員会」である。

具体的には、別途委員会と同様、「津波に強い東北の地域づくり検討調査」の一環として、宮城県、岩手県が実施する「津波防災対策検討調査」と連携し、東北地方における効果的・効率的沖合津波・波浪観測網の構築、及び観測情報を活用した津波防災業務支援システムを構築することを目的としている。

(次項、津波に強い東北の地域づくり検討調査フロー図参照)

津波に強い東北の地域づくり検討調査 調査フロー図



2. 本業務での検討内容

本業務での検討内容は以下の通りであるが、
、
は非常に専門的な内容になるため、主に ~ 及び について検討する。

GPS 波浪計広域配置計画の検討

- 津波波源域の設定

- 津波シミュレーションの実施

- 既設波浪観測装置を考慮した GPS 波浪計の配置海域検討

- 陸上基地局を考慮した効果的な GPS 波浪計の配置計画策定

即時浸水予測システムの構築

- 気象庁津波情報から浸水域を予測するプログラムの開発

- GPS 波浪計観測データにより浸水域を予測するプログラムの開発

即時浸水予測システムの活用方策の検討

- GPS 波浪計観測データの活用による救護等初期防災業務支援システム開発

GPS 波浪計システム仕様について

- 陸上基地局の設置場所

- 陸上基地局と事務所及び監視センターへの通信システム

GPS 波浪計設置方法について

- 設置海域の潮流、波高、海底地形等の把握

- GPS 波浪計製作・設置に係る施工方策

東北における沖合津波観測網の構築イメージ

- システム構築のイメージ、課題の抽出

これらの項目について、第 1 回委員会及び、3 月の第 2 回委員会で検討する内容を、次ページの図及び以下に示す。



図 2回の委員会における検討内容

第1回

GPS 波浪計広域配置計画の検討方針

配置箇所の検討方針，妥当性の検証方針を示す．

即時浸水予測システムの構築の検討方針

システム構築の方針を示す．

即時浸水予測システムの活用方策の検討方針

活用方法の検討方針を示す．

GPS 波浪計システム仕様について

システム仕様について紹介する．

GPS 波浪計設置方法について

設置方法について紹介する．

第2回

GPS 波浪計広域配置計画の検討結果

配置箇所の検討結果，妥当性の検証結果を示す．

即時浸水予測システムの構築の検討結果

システム構築の検討結果（予測システムのイメージ）を示す．

即時浸水予測システムの活用方策の検討結果

活用方策の検討結果（予測システム活用のイメージ）を示す．

東北における沖合波浪観測網の構築

システムの構築イメージを示し，今後の課題を抽出する．

第2編 報告書

第 1 章 概要

1. 本業務の位置付けと目的

東北地方整備局では、東北における広域的津波減災施策及び、津波防災行政の検討を目的として、「津波に強い東北の地域づくり検討調査」(平成17年度国土施策創発調査費)を実施している。その一環として、当業務を含む、2つの委員会からなる検討を行っている。

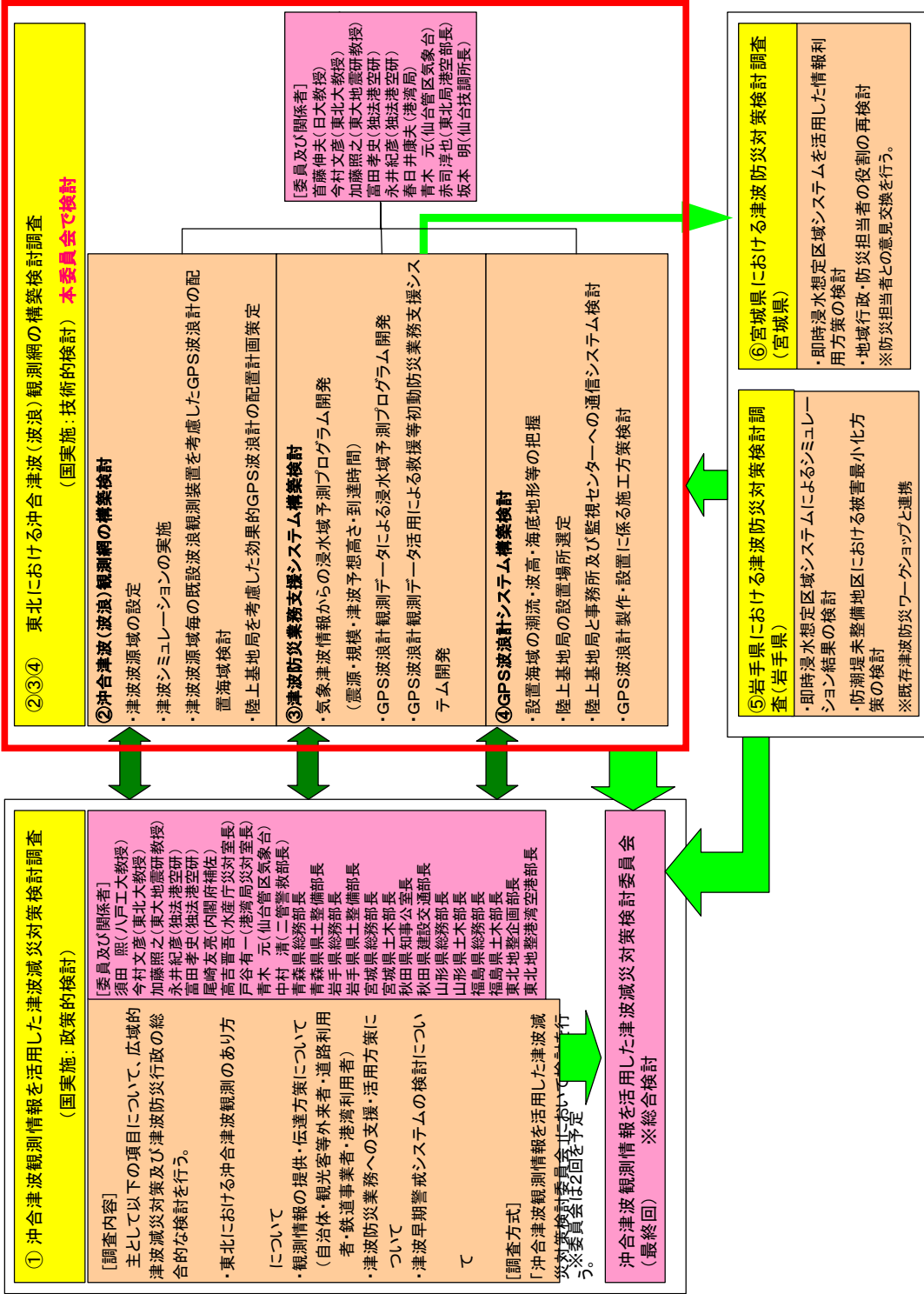
一つ目の委員会は、「沖合津波観測情報を活用した津波減災対策検討委員会」であり、そこでは沖合津波・波浪観測網の整備による広域的な津波沖合観測情報に基づく、情報伝達方法、予防避難対策・事後対策等における情報活用方を検討するものである。

二つ目の委員会は、本業務であるが、ここでは上記委員会と並立し、技術専門委員会という立場を取り、上記目的を達成するために、技術的な側面からの検討を行う「東北における沖合津波(波浪)観測網の構築検討委員会」である。

具体的には、別途委員会と同様、「津波に強い東北の地域づくり検討調査」の一環として、宮城県、岩手県が実施する「津波防災対策検討調査」と連携し、東北地方における効果的・効率的沖合津波・波浪観測網の構築、及び観測情報を活用した津波防災業務支援システムを構築することを目的としている。

(次項、津波に強い東北の地域づくり検討調査フロー図参照)

津波に強い東北の地域づくり検討調査 調査フロー図



2. 本業務での検討内容

本業務での検討内容は以下の通りであるが、
、
は非常に専門的な内容になるため、主に ~ 及び について検討する。

GPS 波浪計広域配置計画の検討

- 津波波源域の設定

- 津波シミュレーションの実施

- 既設波浪観測装置を考慮した GPS 波浪計の配置海域検討

- 陸上基地局を考慮した効果的な GPS 波浪計の配置計画策定

即時浸水予測システムの構築

- 気象庁津波情報から浸水域を予測するプログラムの開発

- GPS 波浪計観測データにより浸水域を予測するプログラムの開発

即時浸水予測システムの活用方策の検討

- GPS 波浪計観測データの活用による救護等初期防災業務支援システム開発

GPS 波浪計システム仕様について

- 陸上基地局の設置場所

- 陸上基地局と事務所及び監視センターへの通信システム

GPS 波浪計設置方法について

- 設置海域の潮流、波高、海底地形等の把握

- GPS 波浪計製作・設置に係る施工方策

東北における沖合津波観測網の構築イメージ

- システム構築のイメージ、課題の抽出

これらの項目について、第 1 回委員会及び、3 月の第 2 回委員会で検討する内容を、次ページの図及び以下に示す。

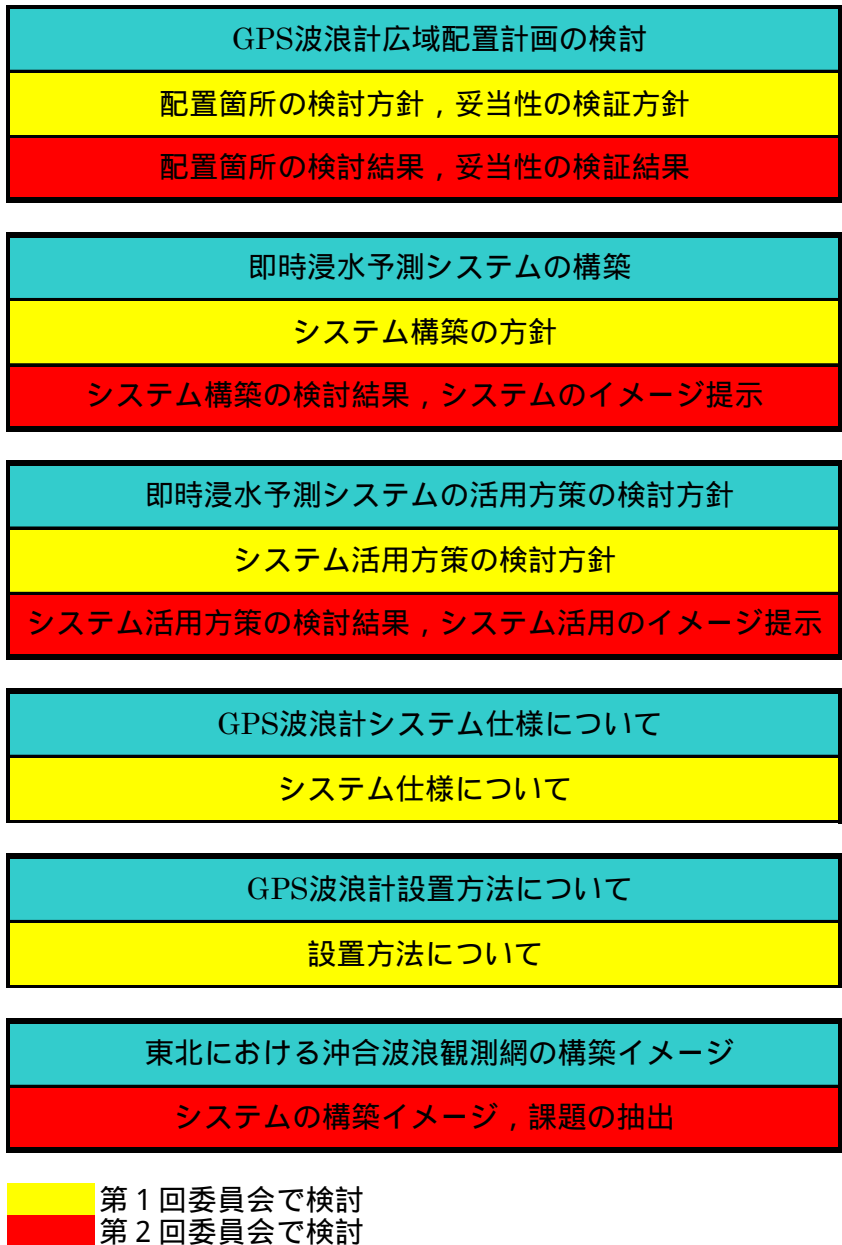


図 2回の委員会における検討内容

第1回

GPS 波浪計広域配置計画の検討方針

配置箇所の検討方針，妥当性の検証方針を示す．

即時浸水予測システムの構築の検討方針

システム構築の方針を示す．

即時浸水予測システムの活用方策の検討方針

活用方法の検討方針を示す．

GPS 波浪計システム仕様について

システム仕様について紹介する．

GPS 波浪計設置方法について

設置方法について紹介する．

第2回

GPS 波浪計広域配置計画の検討結果

配置箇所の検討結果，妥当性の検証結果を示す．

即時浸水予測システムの構築の検討結果

システム構築の検討結果（予測システムのイメージ）を示す．

即時浸水予測システムの活用方策の検討結果

活用方策の検討結果（予測システム活用のイメージ）を示す．

東北における沖合波浪観測網の構築

システムの構築イメージを示し，今後の課題を抽出する．

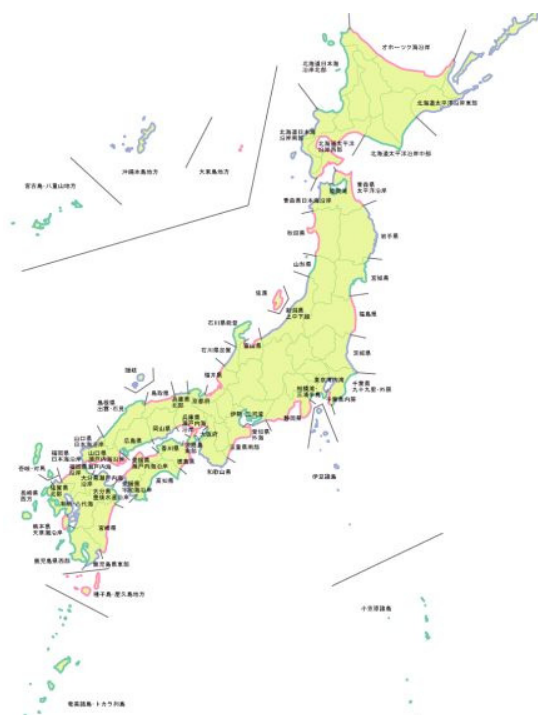
第2章 GPS 波浪計広域配置計画の検討

1 . 津波防災情報の課題と GPS 波浪計の活用

1 . 1 . 津波防災情報の現状

気象業務法で規定される気象庁の津波予報は、平成 11 年 4 月から、地震観測による震源要素（位置とマグニチュード）から、あらかじめ津波数値シミュレーションにより計算された沿岸の津波の高さ等をデータベース検索して定量的に予測する「量的津波予報」となった。量的津波予報以前は、統計的・経験的な手法で津波予測を行っており、ハワイにある太平洋津波警報センターをはじめとして、防災情報として津波予報を発表する国や機関では現在もその手法が主流であり、数値シミュレーション技術を実際の津波予報に取り入れているのは日本だけである。

気象庁は、気象審議会答申第 19 号（平成 6 年 10 月 6 日）で、都道府県程度の沿岸毎への予報発表を目指し数値シミュレーション技術導入の方針を提言されたことを受け、学識経験者、関係機関等から構成させる「量的津波予報検討会」を平成 10 年 3 回開催し、現在の量的津波予報へ移行した。ここにおいて、津波予報と発表する予測精度と猶予のない予報発表時間までに取得できる津波発生の判断要素は、地震の震源要素（位置とマグニチュード）の速報値のみであり、実際の地震断層やそれに起因する津波の初期海面変動の詳細の把握やそれを使っての数値シミュレーションはできない中で、リスクを漏らさず報じるための予測技術の重要性が議論され、そのための技術調査を踏まえ、量的津波予報が完成した。



この津波予報は、日本全国を 66 に分割した予報区ごとに「予想される津波の高さ」および「津波到達予想時刻」が発表される。地域の津波防災は、これらの情報を拠り所に進められる。

図 2 - 1 津波予報区（気象庁ホームページより）

1.2. 津波防災情報の課題と沖合 GPS 波浪計の役割

我が国の津波防災活動は、世界最先端の津波予報システムにより発表される津波予報を抛り所を実施され、全国約 100 カ所からの検潮所からの 24 時間リアルタイムで収集している潮位の監視データを利用して予報の見直しが行われている。

GPS 波浪計は、港湾整備に必要な沖合波浪情報等の海象情報を取得するとともに、沖合で津波による潮位の変化を観測できるため、沿岸部を津波が襲う前に津波の実態を捉え、予報の修正や初動対応の見直しを行うことが可能となり、より安全で確実な減災対策を行うことができるようになる。特に、三陸における津波災害の象徴とも言える 1896 年明治三陸津波のように、地震の揺れから推測されるよりも津波の規模が大きくなる“津波地震”であることを沿岸到達前に確認し、適切な減災対策の実行や救援救助の初動体制の準備をいち早く行うことに対する効果が期待できる。また、地震以外（火山、土砂突入、海底地滑り、隕石）が原因となる津波に対しても有効性が期待できる。

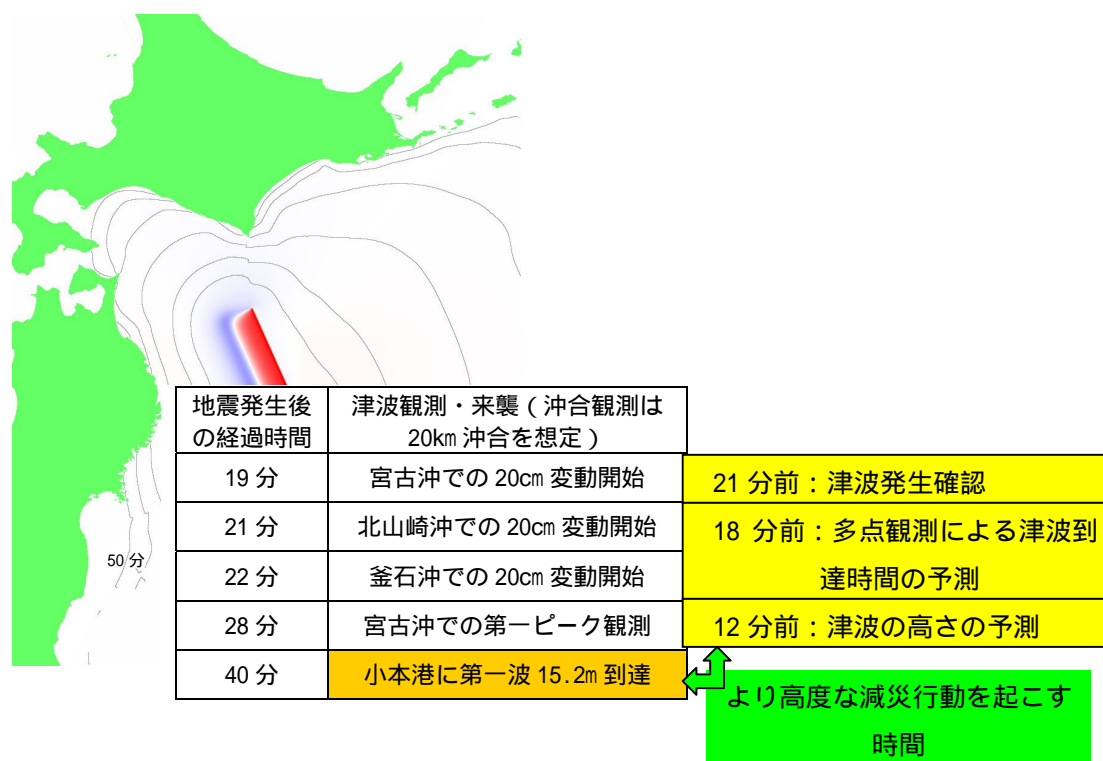


図 2 - 2 明治三陸地震津波の到達時間シミュレーション例

（東北地方整備局 平成 16 年度東北地方の港湾における津波対策基礎調査より）

小本港では地震発生 37 分後に潮位上昇が始まるため、安全な退避時間については現地の状況も踏まえた十分な検討が必要である。

1.3. GPS 波浪計による沖合津波観測網の目的

(注：*は、GPS 波浪計の津波観測値及び高度処理した結果を意味しており、防災業務実施機関等に直接提供する防災情報ではない。)

GPS 波浪計による沖合津波観測により、津波が到達する前に津波の来襲状況を把握して、予報の修正や初動対応の見直しを行うことができる。但し、一箇所の GPS 波浪計による観測だけでは、津波の来襲状況を正確に把握することが難しい。GPS 波浪計による沖合津波観測情報*を利用し、予報の修正や初動対応の見直しを行うためには、ネットワーク化された観測網を構築することが必要である。

例えば、下図に示すように、波源域 A の津波では浸水域 A、波源域 B の津波では浸水域 B となり、波源域 A および波源域 B から GPS 波浪計 までは同程度の距離での津波の高さの観測値が同値となる場合である。この場合、GPS 波浪計 での観測値からは浸水域 A となるのか浸水域 B となるのか判断することは難しい。そこで、離れた場所に設置された GPS 波浪計 の観測情報*の違いによって浸水域 A となるのか浸水域 B となるのか判断できるようになる。

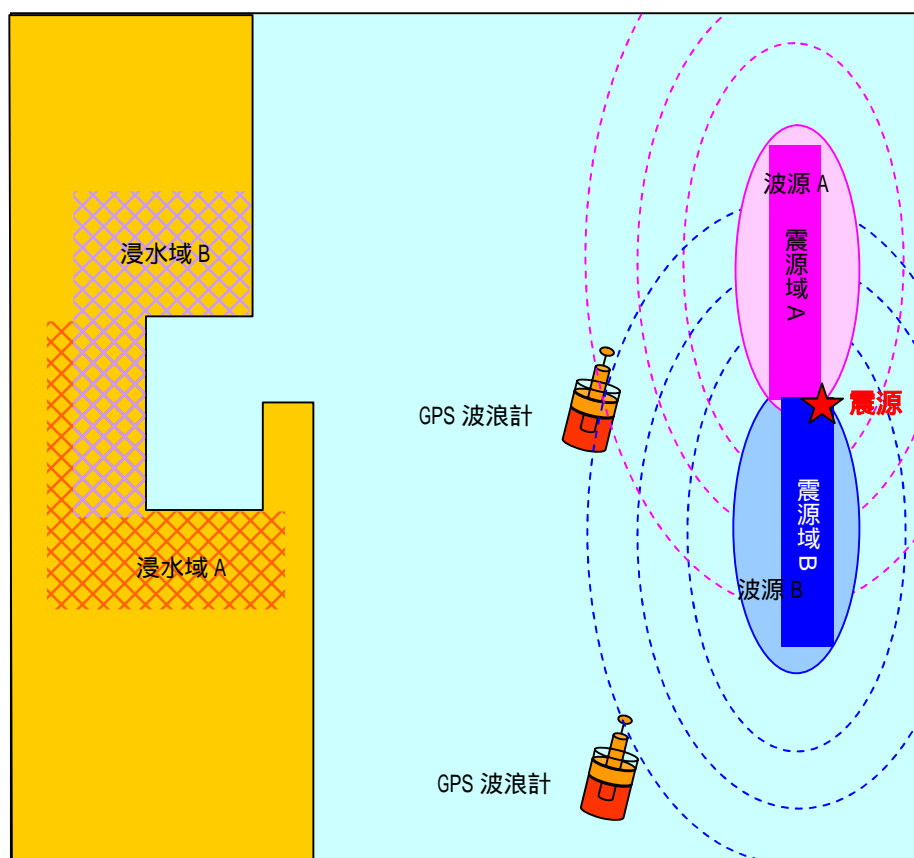


図 2 - 3 波源域の違いによる浸水域の違いと沖合津波観測網による効果 (イメージ)

1.4. 沖合津波観測と被害予測

(1) 被害予測の目的

津波の高さは、水深の深い沖合では低く、水深の浅い沿岸に近づくほど高くなる特徴を持つ。また、局所的な地形の影響を受けて波高が大きく変化するため、GPS波浪計による沖合津波観測情報*だけでは沿岸における被害を把握することは難しい。更に、図2-3のように波源域によって、浸水域が異なるケースも想定される。

このため、国、都道府県および市町村が、沖合津波観測網などによる津波観測情報*を有効活用するためには、その情報を地域の具体的な被害に変換する技術開発が必要である。

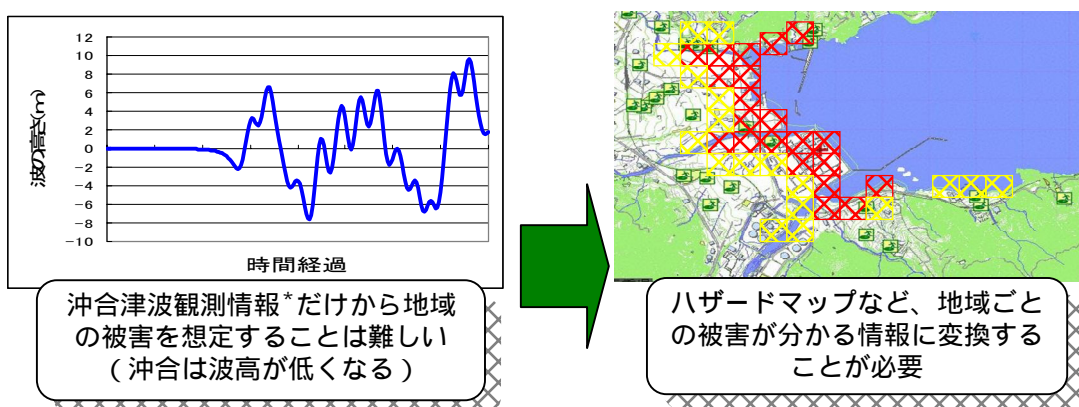


図2-4 沖合津波観測情報*を利用した地域ごとの被害予測(イメージ1)

沖合津波観測情報*を利用した地域ごとの被害予測を行う技術開発については、国土交通省津波対策検討委員会において「今後5年以内にモデル地区を対象とした即時浸水予測システムを構築すること」が提言されている。

この提言を受け、今回の検討では、沖合津波観測網による津波観測情報*を利用することによって、国、県、市町村がより安全で確実な津波早期警戒体制を立ち上げることができ、即時浸水予測システムのプロトタイプを開発し、その活用例を検討し、課題を明らかにする。

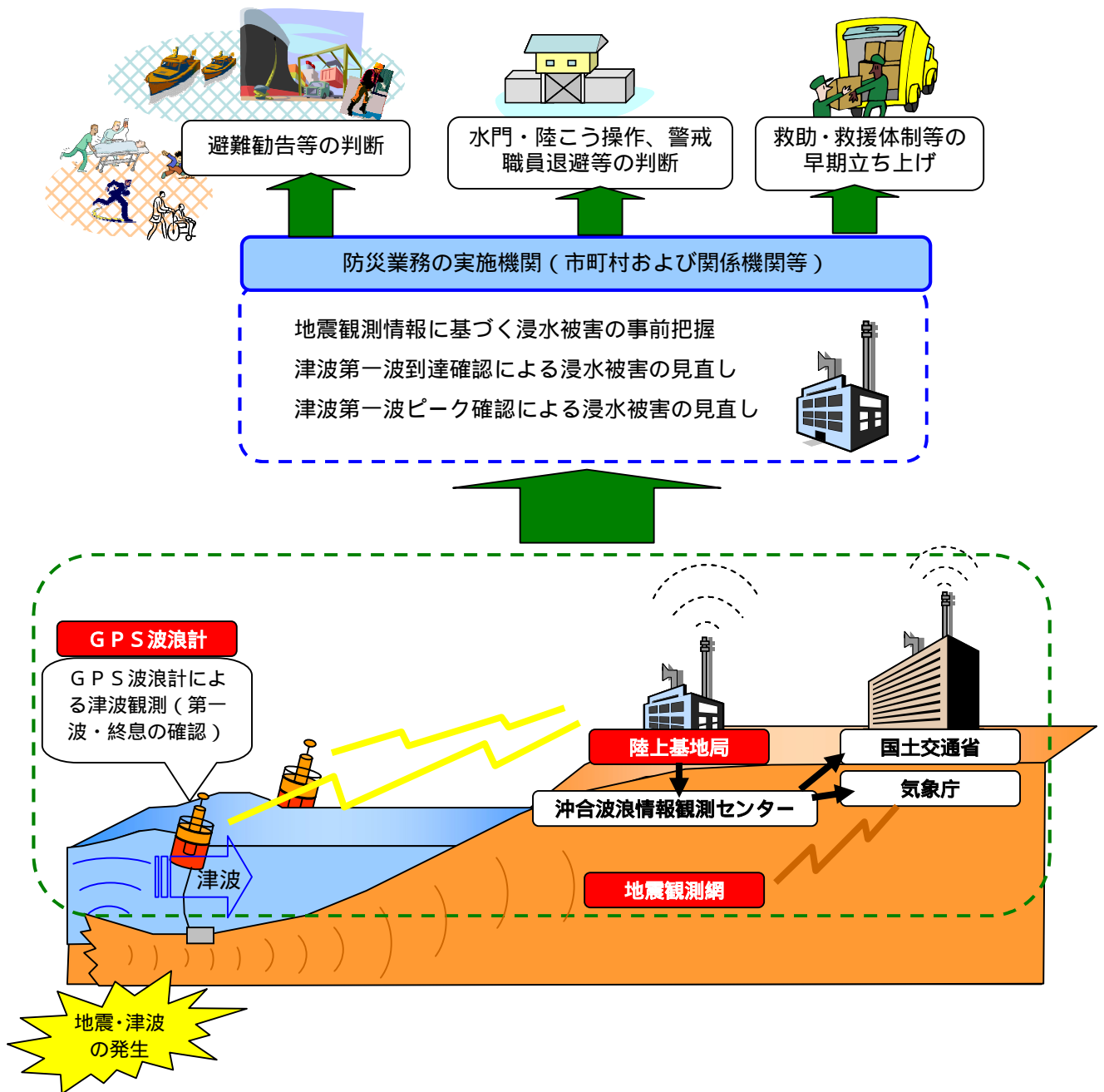


図 2 - 5 沖合津波観測情報*を利用した地域ごとの被害予測（イメージ2）

(2) 既存システムと即時浸水予測システムの関係

気象庁の津波予報システムのほかにも、国土庁（現内閣府）によって津波浸水予測データベースが構築され、運用されてきた。本調査で検討する津波早期警戒システムは、これまでの地震観測情報から津波の規模および被害を推定するだけでなく、沖合 GPS 波浪計による津波観測情報*を利用したシステムである。

表 2 - 1 既存システムと即時浸水予測システムの関係

<p>既存システム</p>	<p>地震観測情報と対応した津波波高・到達時間予測データベース（気象庁津波予報システム）</p>
	<p>津波予報システムと対応した浸水予測データベース</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国土庁（現内閣府）が平成 11 年度整備 ・気象庁津波警報と対応した浸水予測範囲を表示 ・格子サイズ 100m（平成 15 年度より再構築中） ・構造物評価なし <div data-bbox="531 1003 1182 1630" style="text-align: center;"> </div> <p>国土庁の浸水予測システムの画面例 （岩手県津波避難対策検討委員会報告書）</p>
<p>本調査で検討</p>	<p>津波観測情報*を利用したリアルタイム津波シミュレーションによる被害予測（実情をデータにより提示する）</p> <p>津波観測情報*と対応した浸水予測データベース</p>

(3) リアルタイム津波シミュレーションの活用

より正確な津波予測に基づく安全で確実な減災対策を実行するためには、実際に発生した津波を観測して波源を推定し、リアルタイムに津波シミュレーションを行うことが有効である。しかし、津波シミュレーションには多大な計算時間が必要であり、初動対応に有効な短い時間の中に浸水予測などの津波防災情報を発信するためには、スーパーコンピュータなどの大型の計算機が必要となる。

表 2 - 2 津波シミュレーションに要する計算時間

計算機(緒言は表 2 - 3 参照)	50m 領域の計算条件(領域は図 2 - 6 参照、150m 領域までは線形計算)		
	線形・遡上なし・波 高のみ	非線形項考慮・遡上計 算・浸水域	非線形項考慮なし・ 遡上計算・浸水域
PC1	42 分 08 秒	4 時間 41 分 20 秒	3 時間 41 分 22 秒
PC2	58 分 02 秒	5 時間 26 分 44 秒	3 時間 52 分 06 秒
WorkStation	55 分 26 秒	-	-
WS-Cluster16	04 分 27 秒	16 分 07 秒	13 分 03 秒
WS-Cluster32	-	08 分 57 秒	-

時間ステップ 0.1 秒、再現時間 1 時間で計算にかかる時間を算出

表 2 - 3 計算機の緒言

	CPU	メモリ	OS	コンパイラ
PC1	Intel Pentium4 3.2GHz HT テクノロジ	768MB	Vine Linux 3.2	G77
PC2	Intel Pentium M770 2.13GHz	1GB	Vine Linux 3.2	G77
WorkStation	SPARC64V 1.3GHz	1GB	Solaris 8	Fujitsu frt
WS-Cluster16	SPARC64V 1.3GHz × 16CPU	1GB × 16	Solaris 8	Fujitsu frt
WS-Cluster32	SPARC64V 1.3GHz × 32CPU	1GB × 32	Solaris 8	Fujitsu frt

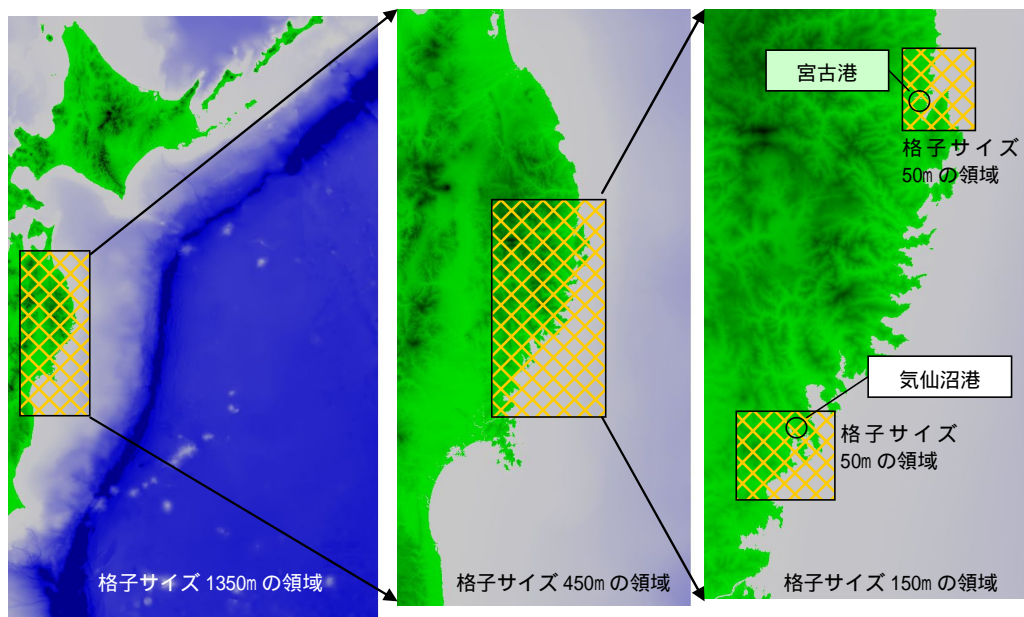


図 2 - 6 計算対象領域

今回の調査対象地という限られた範囲での波高・到達時間の情報であれば、現在、市販されている PC を利用した場合でも実現象の時間よりも短時間で求めることができる。しかし、更なる広域化や遡上計算を実施した場合には、大型計算機または領域を並列処理させて津波シミュレーションを行う技術が必要となる。

本調査に基づく試算では、中央防災会議の地形データ（図 2 - 6）を利用し、青森県八戸市から福島県相馬市に至る海岸線に対し、格子サイズ 50m で 1 時間の津波の挙動を計算した場合、SPARC64V 1.3GHz を 16CPU 搭載した WorkStation Cluster では 43 分で計算を完了することができ、1 時間以内の最大波高や到達時間を求めることができることが明らかとなった。計算機の性能向上や津波シミュレーションの並列化技術も改良によって、今後、リアルタイムでの津波予測が可能になるものと考えられる。

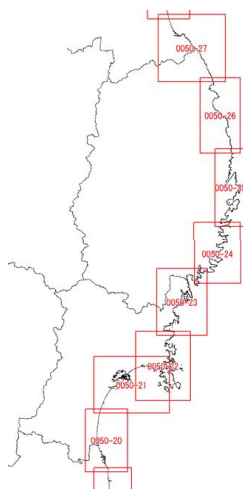


図 2 - 7 中央防災会議の地形データ（八戸～相馬）

(4) データベース活用による即時浸水予測システム

リアルタイム津波シミュレーションは計算機の性能向上に大きく依存しているため、計算機の性能向上により将来的には可能となることも期待できる。但し、切迫性が高い宮城県沖地震に直面している東北においては、津波対応策の高度化を早急に進めることが必要であり、本調査においては、**沖合津波観測情報***と**対応した浸水予測データベース**を構築することを検討する。

2. システムの位置付け

システムの位置付けを図2-8に示す。

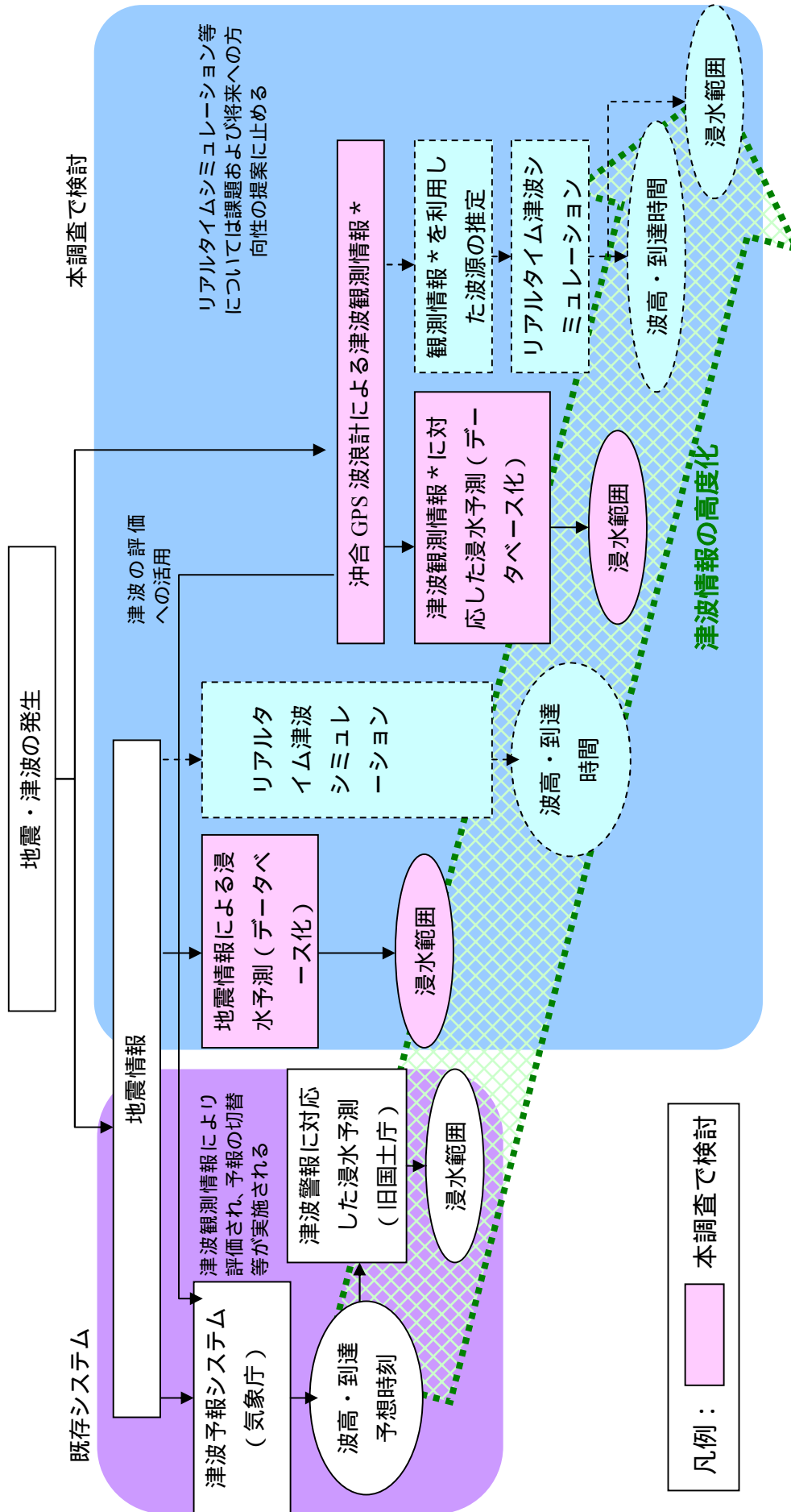


図 2 - 8 本調査で検討するシステムの位置付け

3 . GPS 波浪計広域配置計画の検討方法

GPS 波浪計広域配置計画の作成にあたり、沖合波浪情報等の海象情報を取得する目的を踏まえたうえ、GPS 波浪計の特長“ 沖合で津波を捉える ”を津波防災へ活用するために、以下の点にも着目した配置計画を作成する。配置計画の作成にあたり、沿岸部が波源域にかかる地域では、潮位変動開始時刻だけではなく、基準海面より上昇に転じる時間やピークが到達する時間も評価に加える（下記 ）。

また、防災情報システムとしての情報内容および安定稼働の信頼性を維持するために、沿岸部に津波が到達する前に、3箇所程度を目安に津波を観測できる配置案を検討する。GPS 波浪計の設置場所は沖合 20km を想定する。（東北地方整備局 平成 16 年度東北地方の港湾における津波対策基礎調査）

表 2 - 4 GPS 波浪計広域配置計画の検討方法

	海域を含めた沿岸部全体に津波が被害を与える前に、津波を捉えることができる設置箇所（“ 引き ” を含めた津波到達時間による評価）
	沿岸部で陸上に津波が被害を与える前に、津波を捉えることができる設置箇所（基準海面より上昇する時間による評価）
	沿岸部で陸上に津波が被害を与える前に、即時浸水予測システムにより津波の規模を予測できる（第一波のピークを観測できる）設置場所
	津波外力が大きくなる設置場所（被害が大きくなる後背沿岸域での早期警戒による被害軽減および被災状況の早期把握に有効）
	沿岸部での津波予測精度を向上させることができる設置場所

上記、～ は津波伝播図を、 は最大波高の分布図を示すことで設置位置を検討する。また、については、初期波源の形状を精度良く推定する技術が十分に確立されていないため、今後の検討および技術開発の課題とする。

具体的な、検討手順を以下に示す。

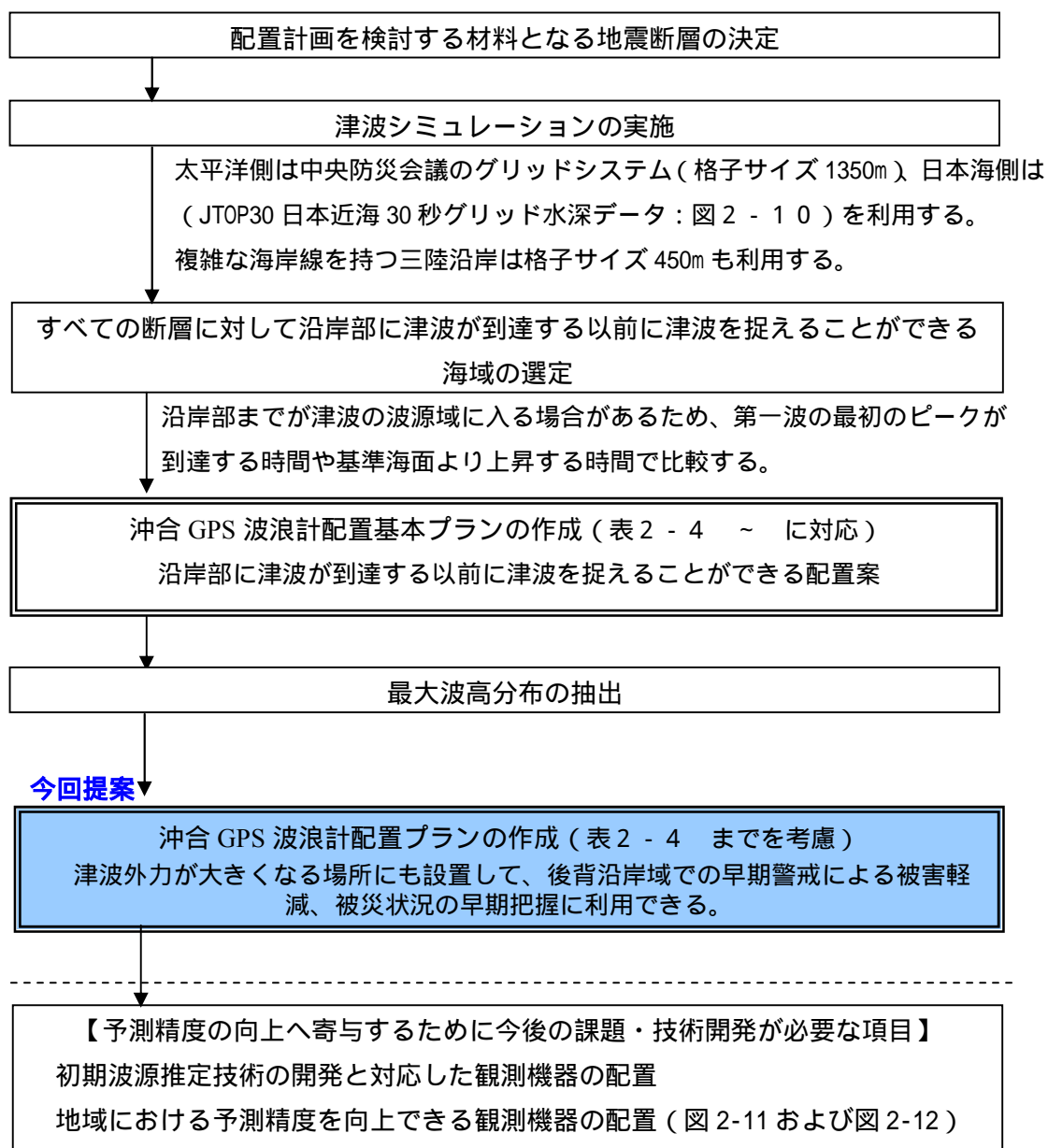


図 2 - 9 GPS 波浪計広域配置計画検討の流れ

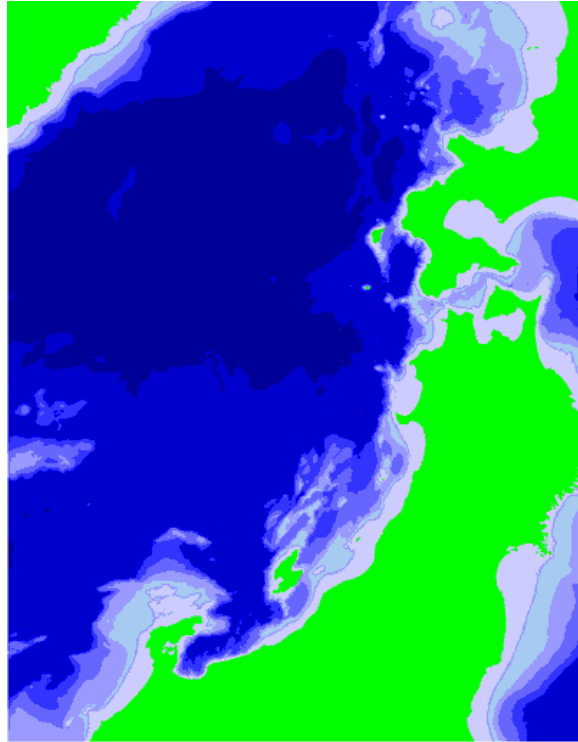


図 2 - 1 0 日本海側の計算対象領域

太平洋側の計算対象領域は図 2 - 6 に示す。

<参考> 地域における予測精度の向上について

ある観測点で観測される波高が同値でありながら、初期条件の断層および沿岸での津波の高さ、浸水範囲が異なる可能性がある。この予測幅を、地域での津波防災活動で活用できるような範囲に抑えることができるような津波観測網を整備する必要がある。

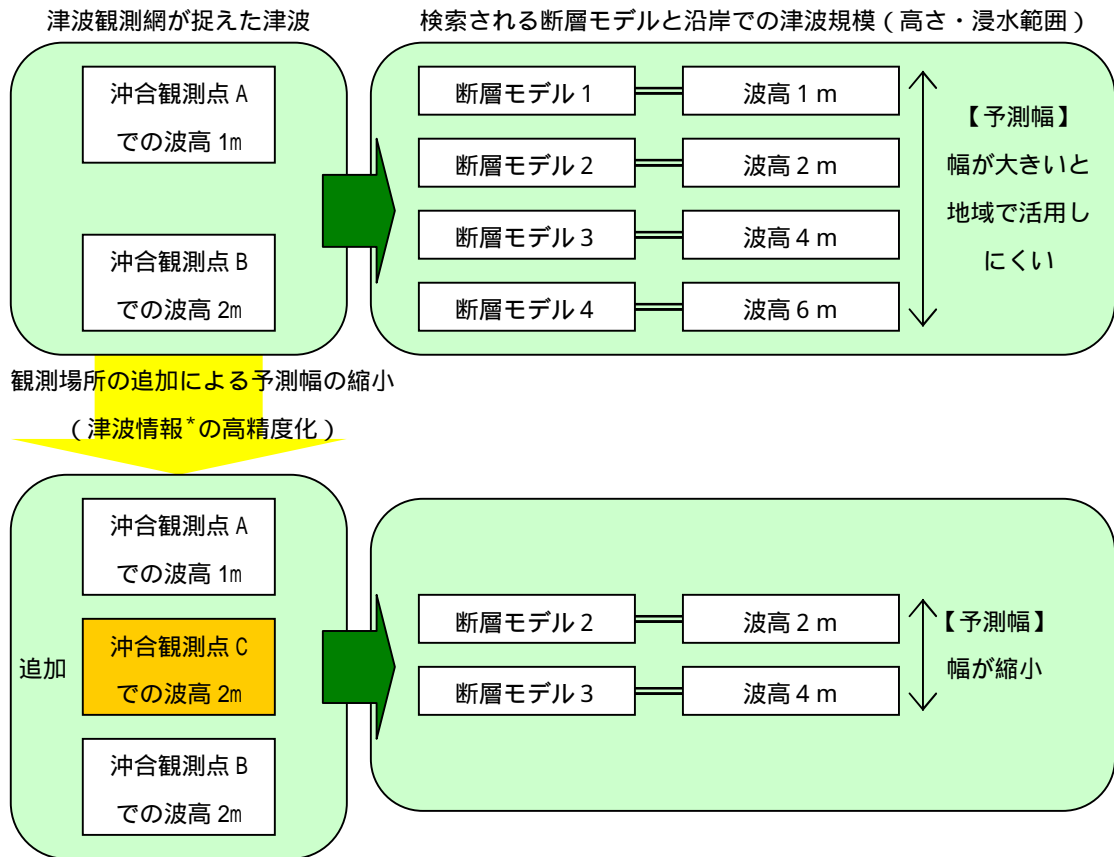


図 2 - 1 1 予測精度の向上と津波観測データの関係 (1)

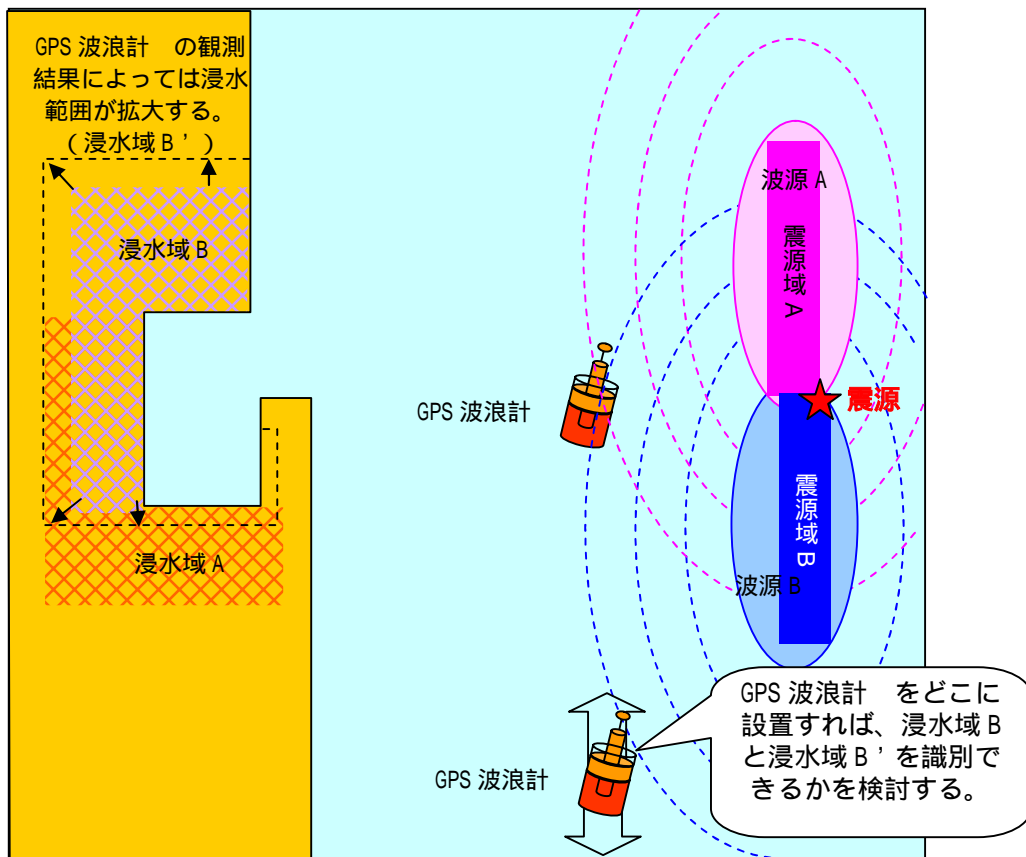


図 2 - 1 2 予測精度の向上と津波観測データの関係 (2)

3.1. 断層モデル

GPS 波浪計広域配置計画の検討で利用する断層条件は次の通りとする。

(1) 日本海溝沿いの地震断層

日本海溝沿いのプレート間大地震は 1611 年三陸沖、1677 年房総沖、1896 年三陸沖が知られており、大きな津波を引き起こしている。地震調査研究推進本部の長期評価によれば、これらの地震は同じ場所で繰り返し発生しているとは言いがたいとのことであり、配置計画を検討する際の想定断層は、三陸沖から房総沖の日本海溝沿いに海溝軸に沿って並べて配置する。

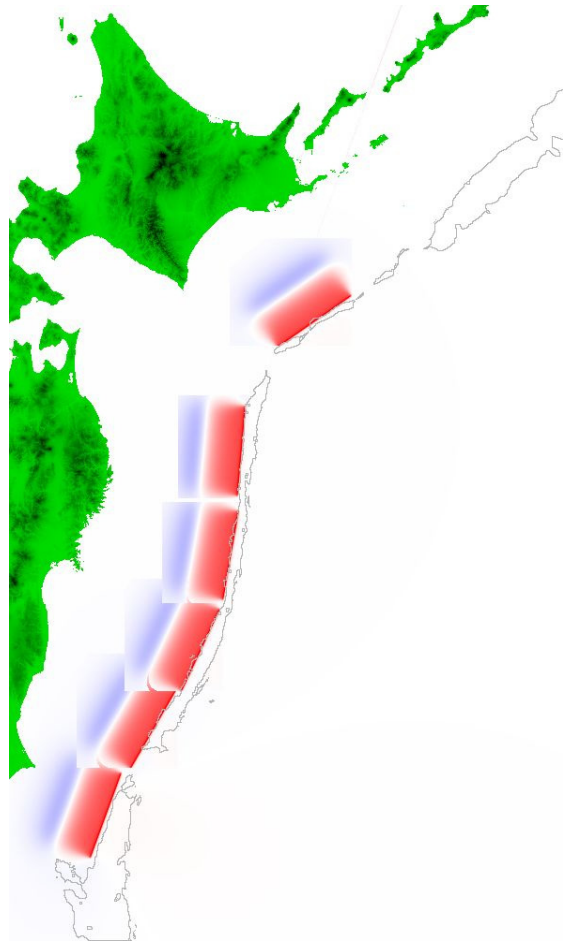


図 2 - 1 3 日本海溝沿いに M8.0 の地震断層を設定した例

日本海溝沿いに設定する地震断層のサイズは、相似則 $\text{Log } L = 0.5M - 1.9$ および $W / L = 0.5$ から断層長を 130km、断層幅 65km、平均すべり量は $\text{Log } D = 0.5M - 3.2$ から 6.3m と設定する。これらの断層は低角逆断層とし、(社)土木学会 原子力土木委員会 津波評価部会