

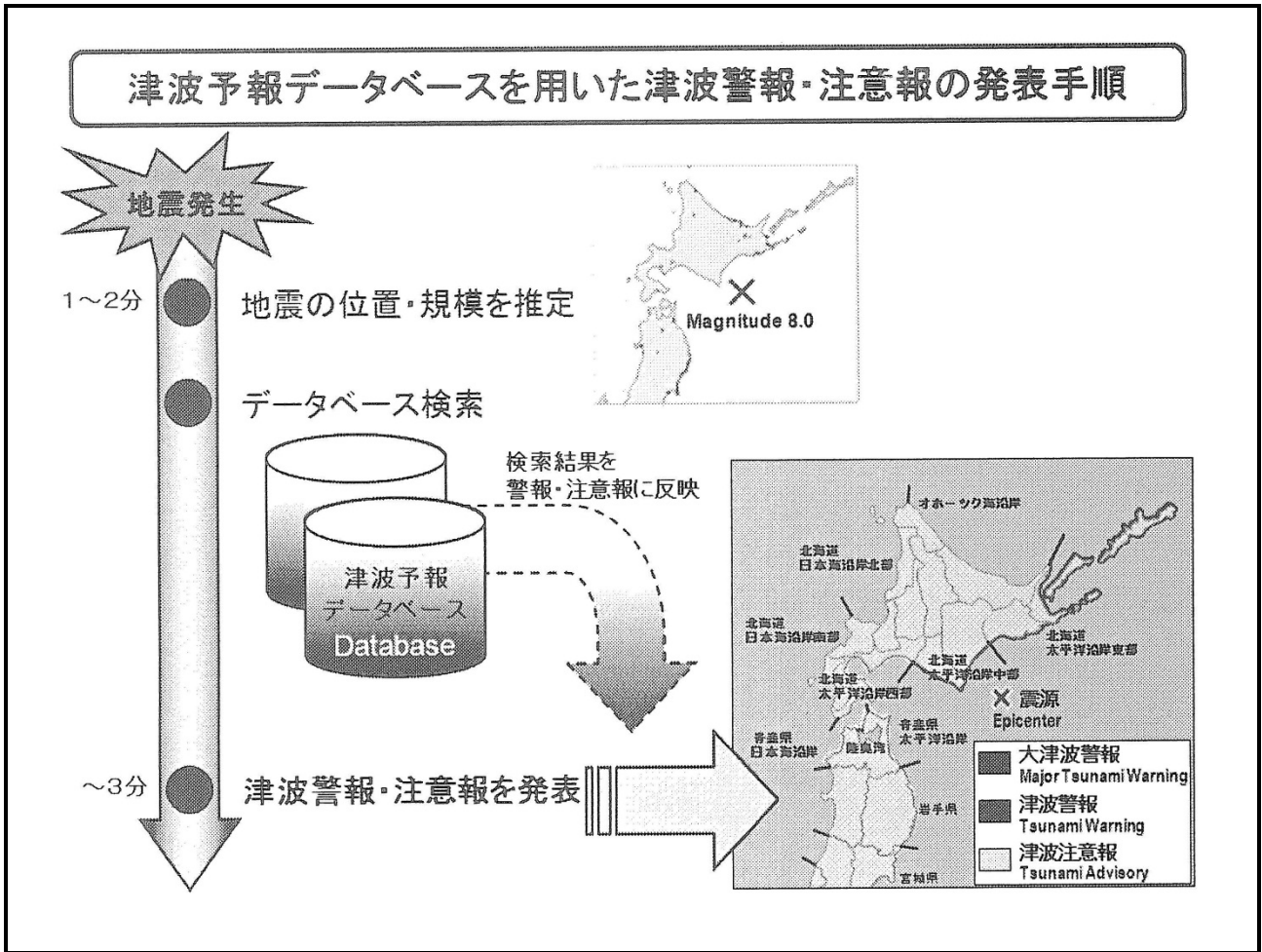
ウ 津波警報等

調査の結果	説明図表番号
<p>津波予報、津波注意報及び津波警報は、地震が発生した際に地震の位置と規模を求め、そこから推定される津波の高さと到達時刻を津波予報データベースで検索し、その結果を用いて、全国 66 の津波予報区について発表されるものであり、このうち災害のおそれがあると予想される津波注意報及び津波警報（以下「津波警報等」という。）については、地震検知後 3 分以内を目標として発表することとされている。</p> <p>津波予報データベースは、日本周辺において大きな地震が沿岸近くで発生した場合、発生直後から高さや到達時刻の計算を開始したのでは津波の到達に間に合わないことから、あらかじめ津波を発生させる可能性のある断層を設定して津波の数値シミュレーション（注）を行い、その結果を蓄積したものであり、日本周辺で発生した地震を想定したものほかに、太平洋の対岸等の遠地で発生した地震を想定した遠地津波データベース等がある。</p>	<p>図表 1-(1)-ウ-①</p>
<p>津波予報及び津波警報等の発表基準は、地震津波業務規則（平成 6 年気象庁訓令第 2 号）により、i) 津波予報については、予想される津波の高さが高いところで 0.2m 未満である場合又は津波による災害のおそれがないと認められる場合、ii) 津波注意報については、予想される津波の高さが高いところで 0.2m 以上 1 m 以下である場合であって津波による災害のおそれがある場合、iii) 津波警報については、予想される津波の高さが高いところで 1 m を超え、3 m 以下である場合、iv) 大津波警報については、予想される津波の高さが 3 m 以上である場合とされている。</p>	<p>図表 1-(1)-ウ-②</p>
<p>地震計がとらえた観測データは、地震活動等総合監視システム（EPOS）によって緊急地震速報の手法も併用して自動もしくは手動で解析され、その結果に基づいて、津波予報データベースにより予測された各予報区における津波の高さが発表基準に達した場合には、その結果を現業班員が分析・判断した上で、報道機関、都道府県等に発信されるものとなっている。</p>	<p>図表 1-(1)-イ-④（再掲）</p>
<p>気象庁は、平成 19 年 10 月、津波予測に関する技術的な知見に基づき、津波警報等の高度化に関する意見交換等を行うことを目的として、学識経験者からなる「津波予測技術に関する勉強会」（以下「勉強会」という。）を設置している。</p> <p>同勉強会では、気象庁の津波警報等の改善や高度化に資する事項及び気象庁が発表した津波警報等に関する技術的評価に関する事項について検討を行っている。</p> <p>気象庁は、津波警報等の発表件数が年に数件程度と少ないことから、その精度について統計的な検証や目標の設定は行っておらず、勉強会において、個別の発表事例ごとに予測の妥当性に関する評価を行っている。</p> <p>（注）「数値シミュレーション」とは、地震の断層運動による海底の地殻変動を計算した上で、当該地殻変動による海面の凸凹が津波として四方八方に伝わっていく様子を流体力学の方程式を用いてコンピューターで計算することによって再現するものである。</p>	<p>図表 1-(1)-ウ-③</p>

<p>(7) 津波警報等に関する予測精度の現状</p> <p>a 津波の高さに関する予測精度</p> <p>気象庁が平成 22 年度から 24 年度までの間に発表した津波警報等 15 件について、津波警報等における津波の高さに関する予測精度について調査した結果は、次のとおりである。</p> <p>勉強会が、平成 22 年度から 24 年度までの間に発表された津波警報等 15 件について実施した評価結果をみると、おおむね妥当な予測となった事例が 3 件となっている一方で、実際の津波よりも予測が小さかった事例が 1 件、実際の津波よりも予測が大きかった事例が 11 件となっていた。</p> <p>気象庁は、これらの予測が実際と異なったものとなった原因について、i) 実際の津波よりも予測が小さかった事例（1 件）については、東北地方太平洋沖地震に伴う津波に係るもので、巨大地震の規模推定は技術的に困難であり、ii) 実際の津波よりも予測が大きかった事例（11 件）については、地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定や断層のタイプの推定等を行うことは技術的に困難であるため、例えば、断層のタイプ（注）についてはより破壊力の大きい、逆断層と推定するなど、より安全サイドに立って予測していることによるものであると説明している。</p> <p>（注）「断層のタイプ」には次の 3 種類があり、横ずれ断層よりも正断層又は逆断層の方が、より大きな津波を起こす傾向がある。</p> <p>① 正断層は、断層面を境にして、上盤（上側の岩盤）が下盤（下側の岩盤）に対して、ずり下がるもの。</p> <p>② 逆断層は、断層面を境にして、上盤が下盤に対して、のし上がるもの。</p> <p>③ 横ずれ断層は、断層面を境にして、水平方向にずれるもの。</p> <p>b 津波の到達時刻に関する予測精度</p> <p>当省が、平成 22 年度から 24 年度までの間に気象庁が発表した津波警報等 15 件について、第 1 波の到達予想時刻に関する予測精度を調査したところ、次のとおり、第 1 波の到達予想時刻より前に津波が観測されたものが 1 件みられる。気象庁では、津波の第 1 波の到達予想時刻より前に津波が観測されたものは、東北地方太平洋沖地震に伴う津波に係るもので、巨大地震の規模推定が技術的に困難であったことによるとしている。</p> <p>（到達予想時刻より前に津波が観測されたもの）</p> <p>平成 23 年 3 月 11 日に発生した三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震により、北海道太平洋沿岸東部等、各地で、到達予想時刻の前に第 1 波の津波を観測した。気象庁では、巨大地震に係る規模推定が、技術的に困難であったことから過小なものとなり、このため到達予想時刻も遅くなったものであるとしている。</p> <p>(4) 津波警報等の予測精度の改善対策</p> <p>気象庁は、発生した地震及び津波に係る解析結果を基に数値シミュレーションを随</p>	<p>図表 1-(1)-ウ-④</p> <p>図表 1-(1)-ウ-⑤</p> <p>図表 1-(1)-ウ-⑥</p> <p>図表 1-(1)-ウ-⑦</p>
---	---

<p>時実施し、津波予測データベースの評価に努めているほか、次のとおり、平成 22 年チリ中部沖地震及び東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報等の精度向上対策を実施している。</p> <p>a 平成 22 年チリ中部沖地震の発生を踏まえた精度改善対策</p> <p>気象庁は、平成 22 年 2 月に発生したチリ中部沖地震に伴う津波警報等で予測した津波の高さが、実際よりも高いものとなった事例（注）を踏まえ、i）海外で観測された津波の潮位を予測値と簡便に比較・評価する津波評価・解析装置を整備、ii）遠地津波データベースについて、海底地形データの解像度を 8 kmメッシュから 2.5 kmメッシュに高めるなどの改良を行っている。</p> <p>（注）平成 22 年 2 月 27 日に発生したチリ中部沖地震について、気象庁は、三陸海岸で 3メートル程度の津波を予想し、大津波警報を発表したが、観測された津波の高さの最大は、岩手県久慈港などで 1.2メートル、岩手県の陸前高田市で 1.9メートル（推定値）にとどまった事例</p> <p>b 東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえた精度改善対策</p> <p>気象庁は、東北地方太平洋沖地震について、地震の推定規模が過小評価となった結果、津波の高さの予測が実際よりも小さなものとなったことを踏まえて、i）推定したマグニチュードに係る過小評価判定処理の導入、ii）巨大地震から発生する長い周期の地震波を測定することができる広帯域強震計の整備を行っている。</p> <p>なお、気象庁は、津波観測施設の流出等があった場合においても津波警報の発表・更新が適切に実施できるよう、機動型津波観測装置の整備等を行っている。</p> <p>(ウ) 津波警報等に関する技術的困難性</p> <p>気象庁は、i）地震規模の推定、ii）断層タイプの推定、iii）波源域の推定について、津波警報の第 1 報の発表目標時間である、地震波の検知から 3 分以内に正確な推定を行うことは技術的に困難であり、当面は解消できる対策もないとしている。このため、これらの技術的困難性について国民に丁寧に説明していきたいなどとしているほか、iii）については、精度改善に向け、沖合津波観測データを用いた津波波源域の推定及びそれを用いた津波の予測手法を開発中であるとしている。</p>	<p>図表 1-(1)-ウ-⑧</p> <p>図表 1-(1)-ウ-⑨</p> <p>図表 1-(1)-ウ-⑩</p>
---	---

図表 1 - (1) - ウ - ① 津波警報等の概念



(注) 気象庁の資料による。

図表 1 - (1) - ウ - ② 地震津波業務規則 (平成 6 年気象庁訓令第 21 号)

第 1 章～第 3 章 (略)

第 4 章 津波予報等

(津波予報等の実施)

第 24 条 気象庁本庁は、予警報規程別表第 2 に定める津波予報区 (以下単に「津波予報区」という。) において津波による災害のおそれがあると予想される時は、直ちに、法第 13 条第 1 項及び第 14 条第 1 項の規定により津波注意報及び津波警報並びに津波に関する海上予報及び海上警報 (以下「津波注意報等」という。) をし、予報事項及び警報事項を公衆等に周知する。

2 気象庁本庁は、担当する津波予報区において地震又は津波に関する情報の発表を行う場合であって津波による災害のおそれがないと予想される時は、その発表と同時に、津波予報をし、予報事項を公衆等に周知する。

第 25 条 津波予報等は、第 20 条第 1 項 (第 4 号及び第 5 号を除く。)、第 21 第 1 項及び第 22 条第 1 項の解析 (以下単に「解析」という。) の成果を用いて行う。

(種類及び実施基準の細目)

第 26 条 津波予報等の実施基準の細目は、次の各号に掲げる種類に応じ、それぞれ当該各号に定めるとおりとする。

(1) 津波予報予想される津波の高さが高いところで 0.2 メートル未満である場合又は津波による災害のおそれがないと認められる場合

(2) 津波注意報及び津波に関する海上予報予想される津波の高さが高いところで 0.2 メートル以上 1 メートル未満である場合であって津波による災害のおそれがある場合

(3) 津波警報及び津波に関する海上警報

イ 津波予想される津波の高さが高いところで 1 メートル以上 3 メートル未満である場合

ロ 大津波予想される津波の高さが高いところで 3 メートル以上である場合

(予想要素)

第 27 条 津波予報等の予想要素は、予想される津波の高さの程度及び到達予想時刻とする。

(以下略)

(注) 下線は当省が付した。

図表 1 - (1) - ウ - ③ 津波予測技術に関する勉強会運営要綱（平成 22 年 2 月 23 日改正）

<p>(目的)</p> <p>第 1 条 津波予測に関する技術的な知見に基づき、気象庁の津波警報や津波注意報の高度化に係る意見交換等を行なうことを目的として、津波予測技術に関する勉強会（以下「勉強会」という。）を開催する。</p> <p>(任務)</p> <p>第 2 条 <u>勉強会は、次の事項について意見及び情報の交換を行うものとする。</u></p> <p><u>(1) 気象庁の津波警報・津波注意報の改善や高度化に資する事項</u></p> <p><u>(2) 気象庁が実施した津波警報・津波注意報に関する技術的評価に関する事項</u></p> <p>(勉強会の構成)</p> <p>第 3 条 勉強会は、学識経験者で構成する。地震火山部長は、勉強会の開催の都度、津波予測技術に関する学識を有する者に、勉強会への出席を依頼する。</p> <p>2 勉強会に座長を置く。</p> <p>3 座長は勉強会の会務を総理する。</p> <p>4 座長は勉強会の出席者の中から気象庁地震火山部長が依頼する。</p> <p>(会議の公開)</p> <p>第 4 条 勉強会の会議並びに勉強会の資料及び議事要旨については、原則として一般に公開するものとする。</p> <p>(その他)</p> <p>第 5 条 この要綱に定めるものの外、勉強会の運営に関して必要な事項は、気象庁地震火山部長が勉強会に諮って定める。</p>	
---	--

(注) 下線は当省が付した。

図表 1 - (1) - ウ - ④ 気象庁が発表した津波警報等に係る津波の高さに関する予測精度の検証結果（集計）
 (単位：回、%)

区分		平成 22 年度	23	24	計	
津波警報等の発表回数		6 (100)	6 (100)	3 (100)	15 (100)	
評価	おおむね妥当な予測	1 (16.7)	0 (0)	2 (66.7)	3 (20.0)	
	実際より小さな予測 (原因：巨大地震の規模推定に係る技術的困難)	1 (16.7)	0 (0)	0 (0)	1 (6.7)	
	実際より大きな予測	4 (66.7)	6 (100)	1 (33.3)	11 (73.3)	
	原因区分	規模推定に係る技術的困難	3	3	1	7
		海域での震源決定、規模推定に係る技術的困難	1	2	0	3
断層タイプの推定に係る技術的困難		1	1	0	2	
	断層の方向の推定に係る技術的困難	0	1	0	1	

(注) 1 当省の調査結果による。

2 ()内は、津波警報等の発表回数に対する割合であるが、小数点以下第 2 位を四捨五入しているため、合計が 100 にならない場合がある。

3 「評価」欄のうち「過大な予測」欄の原因区分については、過大な予測となった原因が複数にわたるものがあるため、重複がある。

図表 1 - (1) - ウ - ⑤ 気象庁が発表した津波警報等に係る津波の高さに関する予測精度の検証結果(津波警報等別)

No	津波警報等の発表年月日	発震時刻	震央地名	予測精度に係る評価	予測が妥当でない理由	左記の原因
1	平成 22 年 10 月 4 日	22 時 28 分	宮古島近海	実際より大きな予測	断層が横ずれ型で、マグニチュードと深さの関係で津波が発生しなかった	<ul style="list-style-type: none"> 地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、断層のタイプの推定を行うことによる技術的困難 海域での震源決定、規模推定に係る技術的困難
2	平成 22 年 12 月 22 日	2 時 19 分	父島近海	実際より大きな予測	予測したマグニチュードが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことによる技術的困難
3	平成 23 年 3 月 9 日	11 時 45 分	三陸沖	おおむね妥当	—	—
4	平成 23 年 3 月 10 日	6 時 23 分	三陸沖	実際より大きな予測	予測したマグニチュードが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことによる技術的困難
5	平成 23 年 3 月 11 日	14 時 46 分	三陸沖	実際より小さな予測	地震の規模の見積りを過小評価	巨大地震の規模推定に係る技術的困難
6	平成 23 年 3 月 28 日	7 時 23 分	宮城県沖	実際より大きな予測	予測したマグニチュードが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことによる技術的困難
7	平成 23 年 4 月 7 日	23 時 32 分	宮城県沖	実際より大きな予測	予測したマグニチュードが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことによる技術的困難
8	平成 23 年 4 月 11 日	17 時 16 分	福島県浜通り	実際より大きな予測	予測したマグニチュード及び震源域の広がりが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことによる技術的困難
9	平成 23 年 6 月 23 日	6 時 50 分	岩手県沖	実際より大きな予測	予測した震源の深さが過小	海域での震源決定、規模推定に係る技術的困難
10	平成 23 年 7 月 10 日	9 時 57 分	三陸沖	実際より大きな予測	断層が横ずれ型	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、断層のタイプの推定を行うことによる技術的困難

No	津波警報等の発表年月日	発震時刻	震央地名	予測精度に係る評価	予測が妥当でない理由	左の原因
11	平成 23 年 8 月 19 日	14 時 36 分	福島県沖	実際より大きな予測	予測したマグニチュード及び震源の深さが過大	<ul style="list-style-type: none"> 地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことに係る技術的困難 海域での震源決定、規模推定に係る技術的困難
12	平成 24 年 3 月 14 日	18 時 8 分	三陸沖	実際より大きな予測	予測した断層の向きが実際と異なる	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、断層の方向の推定を行うことに係る技術的困難
13	平成 24 年 8 月 31 日	21 時 47 分	フィリピン諸島	実際より大きな予測	予測したマグニチュードが過大	地震波の検知から発表までの目標時間である 3 分以内に、地震の正確な規模推定を行うことに係る技術的困難
14	平成 24 年 12 月 7 日	17 時 18 分	三陸沖	おおむね妥当	—	—
15	平成 25 年 2 月 6 日	10 時 12 分	南太平洋 (サンタクルーズ諸島)	おおむね妥当	—	—

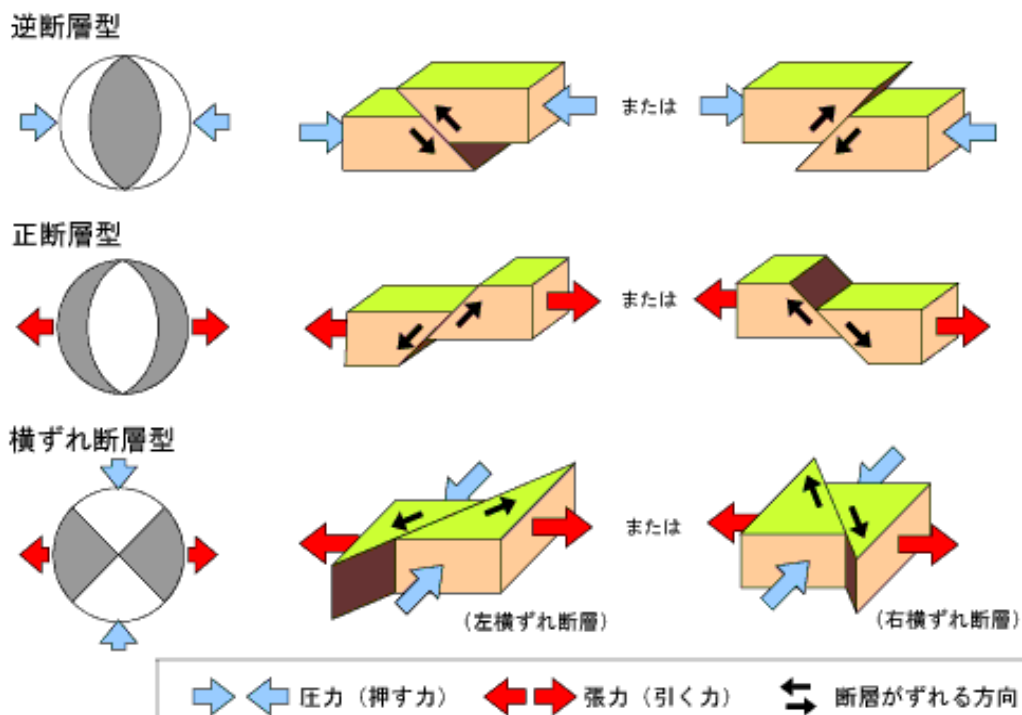
(注) 当省の調査結果による。

図表 1－(1)－ウ－⑥ 地震を発生させる断層タイプに関する概念

地震は、断層の動き方によって、大きく次の三つのタイプに分けられる。

断層の型	説明
正断層	断層面を境にして、上盤（上側の岩盤）が下盤（下側の岩盤）に対して、ずり下がるもの。
逆断層	断層面を境にして、上盤が下盤に対して、のし上がるもの。
横ずれ断層	断層面を境にして、水平方向にずれるもの。 「右横ずれ断層」＝断層に向かって相手側のブロックが右に動いた場合 「左横ずれ断層」＝断層に向かって相手側のブロックが左に動いた場合

各タイプにおける、働く力の向きの典型的な例は次のとおりであり、横ずれ断層よりも正断層又は逆断層の方が、より大きな津波を起こす傾向がある。



(注) 気象庁の資料により、当省が作成した。

図表 1 - (1) - ウ - ⑦ 気象庁が発表した津波警報等に係る津波の第 1 波到達時刻に関する予測精度 (平成 22 年度から 24 年度まで)

No	津波警報等の発表年月日	発震時刻	震央地名	津波の第 1 波が到達予想時刻より後に観測されたもの又は津波が観測されなかったもの	到達予想時刻より前に到達した地点があるもの
1	平成 22 年 10 月 4 日	22 時 28 分	宮古島近海	○	
2	平成 22 年 12 月 22 日	2 時 19 分	父島近海	○	
3	平成 23 年 3 月 9 日	11 時 45 分	三陸沖	○	
4	平成 23 年 3 月 10 日	6 時 23 分	三陸沖	○	
5	平成 23 年 3 月 11 日	14 時 46 分	三陸沖		○
6	平成 23 年 3 月 28 日	7 時 23 分	宮城県沖	○	
7	平成 23 年 4 月 7 日	23 時 32 分	宮城県沖	○	
8	平成 23 年 4 月 11 日	17 時 16 分	福島県浜通り	○	
9	平成 23 年 6 月 23 日	6 時 50 分	岩手県沖	○	
10	平成 23 年 7 月 10 日	9 時 57 分	三陸沖	○	
11	平成 23 年 8 月 19 日	14 時 36 分	福島県沖	○	
12	平成 24 年 3 月 14 日	18 時 8 分	三陸沖	○	
13	平成 24 年 8 月 31 日	21 時 47 分	フィリピン諸島	○	
14	平成 24 年 12 月 7 日	17 時 18 分	三陸沖	○	
15	平成 25 年 2 月 6 日	10 時 12 分	南太平洋 (サンタクルーズ諸島)	○	

(注) 当省の調査結果による。

図表 1 - (1) - ウ - ⑧ 平成 22 年チリ中部地震の発生を踏まえた津波警報等に係る精度改善対策の概要

区分	概要
津波評価・解析装置の導入	平成 23 年度に、海外で観測された津波の潮位を予測値と簡便に比較・評価する津波評価・解析装置を整備し、観測値と遠地津波予測シミュレーション結果を比較することにより、より精度の高い津波予測に修正することを可能とする改善を実施
遠地津波データベースの改善	平成 24 年度に、遠地津波データベースについて、海底地形データの解像度を 8 km メッシュから 2.5 km メッシュに高めるとともに、数値シミュレーション計算結果と実際の観測値を比較できる観測点を国内 19 点から 239 点に増やす等の改善を実施
	遠地津波に係る数値予測シミュレーションについては、津波予測データベースの結果に加え、地震データを解析して得られる震源の位置や断層面の向き、傾き等に基づき、その場でシミュレーションを実施し、その結果を使用することにより、より精度の高い警報の発表を可能とする改善を実施

(注) 当省の調査結果による。

図表 1 - (1) - ウ - ⑨ 東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえた津波警報等に係る精度改善対策の概要

区分	概要
過小評価判定処理の導入	気象庁は、東北地方太平洋沖地震について、地震の推定規模が過小評価となった結果、津波の高さの予測が実際よりも小さな値となったため、推定したマグニチュードが過小評価となっていないかどうかを判定する解析手法を、平成 24 年度までに導入し、地震発生から約 3 分後に発表される津波警報第一報の段階で、マグニチュード 8 を超える巨大地震の規模を過小評価している可能性がある場合には、地震が発生した領域で想定される最大規模のマグニチュードを使用して、津波の高さの予測が小さくなることを防ぐことができるとしている。
広帯域強震計の整備	気象庁は、巨大地震について地震の規模の推定を適切に行うため、マグニチュード 8 を超えるような巨大地震から発生する長い周期の地震波を測定することができる広帯域強震計を全国 80 地点に設置し、平成 25 年度から運用を開始している。
津波観測網の強化	気象庁は、東北地方太平洋沖地震に伴う津波により津波観測計等が流されたことで欠測が発生したことを受け、既設の沿岸津波観測施設の非常電源及び通信機能の強化を図るとともに、予期せぬ観測施設の破壊に備えて機動型津波観測装置を整備している。

(注) 当省の調査結果による。

図表 1 - (1) - ウ - ⑩ 気象庁における津波警報等の発表に関する技術的困難性の説明及び精度改善のための取組状況

正確な予測や適切な対処が技術的に困難な事項	津波警報等の発表に関する技術的困難性の説明	精度改善に関する気象庁の取組状況
地震規模の推定	地震の発生後、地震の規模を最もよく反映するモーメントマグニチュードを決定するためには15分程度を要することから、地震波の検知から発表までの目標時間である3分以内に気象庁マグニチュードで適切に規模を推定できない可能性のあるマグニチュード8をこえる地震の正確な規模推定を行うことは、技術的に困難。	現在のところ、このような状況を技術的に解消できる対策はなく、一方で、この状況を踏まえて過小評価判定処理を導入するとともに、これに対応した津波警報の発表方法の改善を平成25年3月に実施。また、この技術的困難性について国民に丁寧に説明を行う予定。
断層のタイプ等の推定	地震の発生後、津波の大きさに影響する断層のタイプや方向を決定するためには15分程度を要することから、地震波の検知から発表までの目標時間である3分以内に断層タイプの正確な推定を行うことは、技術的に困難。	現在のところ、このような状況を技術的に解消できる対策はなく、この技術的困難性について国民に丁寧に説明を行う予定。
波源域の推定	気象庁では、より精度良く津波の予測を行うためには、波源域(注)を知ることが重要であるが、これを地震波の検知から発表までの目標時間である3分以内に決定することは、技術的に困難。 (注)「波源域」とは、地震直後の津波の発生領域である。	気象研究所において、沖合津波観測データを用いた津波波源域の推定及びそれを用いた津波の予測手法を開発中で、将来的にこの手法を用いた津波警報の更新を実施する予定。

(注) 当省の調査結果による。