

特集

3.11 東日本大震災から
もうすぐ10年
～大きく変わった
沿岸防災～



「津波警報・注意報」の 情報提供の改善について

福満 修一郎 気象庁 地震火山部管理課 地震津波防災対策室

1. はじめに

気象庁は、地震発生時に地震の規模や位置をすぐに推定し、これらをもとに地震が発生してから約3分を目標に、沿岸で予想される津波の高さと到達時刻を予想して、大津波警報、津波警報または津波注意報（以下「津波警報・注意報」とする）を、津波予報区単位（現在は66区）で発表している。

全国的な津波警報体制は、古くは1949（昭和24）年に始まり、それぞれの時代によって改善が図られてきており、「津波警報・注意報」を伝達するための手段も、その当時の通信技術を活用して、最速の方法が採用されてきた。特に1980年代以降、電子計算機等の高度情報処理技術の導入により、「津波警報・注意報」の発表の迅速化や予測精度の向上が推進されてきた。1960年代は地震発生から情報発表まで目標20分以内とされていたが、近年では3分を切るようになってきている。本稿では、最近10年ほどの津波警報・注意報の情報発表の改善に関する取組について挙げていきたい。

2. 津波警報・注意報の発表の流れ

改善の説明の前に、地震発生直後に気象庁から発表する地震及び津波に関する情報の流れを説明したい（図1）。地震が発生すると、ある程度大きな地震であれば、まず「緊急地震速報」を発表する。「緊急地震速報」は地震の発生直後に、各地での強い揺れの到達時刻や震度を予想し、可能な限り素早く知らせる情報であり、全ての

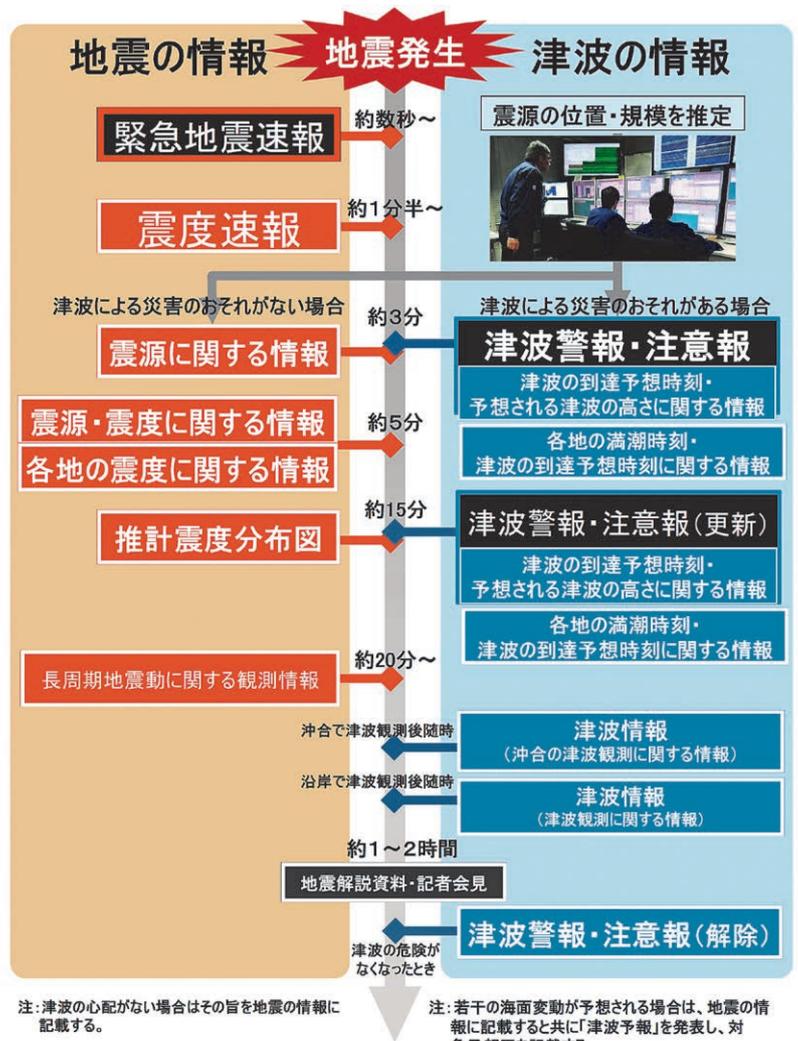


図1 地震及び津波に関する情報の流れ

処理は自動で行われる（最大震度5弱以上が予測される場合、もうすこし広範囲の予測震度4以上までの地域に発表する）。その後、揺れた地域をいち早くお知らせする「震度速報」、詳細な震源の決定や、各地点の揺れの観測データが入るに従い「震源に関する情報」、「震源・震度に関する情報」、「各地の震度に関する情報」を発表する。一方、津波被害のおそれがあると予想されれば、その時点で素早く「津波警報・注意報」を発表する。津波被害のおそれがあるかないかについての予想は、次のような手順となる。地震の発生を観測データによりシステムが検知し、次にリアルタイムで全国から収集されている観測データをもとに、気象庁オペレーションルームにて24時間体制で勤務している職員が地震の規模、震源を決定するため解析を開始し、より正確な震源を短時間で決定する。

この短時間で決定した震源について、津波があるかないかの

予想を、気象庁では、「量的津波予報データベース」を用いている（図2）。最新のコンピューターを用いたとしても、地震が発生してから津波伝播の数値シミュレーション計算を開始したのでは、津波が到達するまでに間に合わない。そのため前もって想定される地震を日本近海に配置、マグニチュードと断層の深さを変えながら、数万通りの津波の発生と伝播を数値シミュレーションで計算しておくのである。これらの地震の発生場所と規模により、いつ・どこに・どのくらいの高さの津波が来襲するか、あらかじめデータベース化しているわけである。その量的津波予報データベースからの予想が「津波あり」となれば、その予想される津波の高さによって、「大津波警報」、「津波警報」、「津波注意報」が即座に発表される。この情報発表後、引き続き「津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報」、及び「各地の満潮時刻・津波の到達予想時刻に関する情報」、またリアルタイムに観測している津波観測点からのデータを基に「津波観測に関する情報」、「沖合の津波観測に関する情報」を発表することとなっている。

3. 「津波警報・注意報」の改善に関するこれまでの取り組み

近年10年ほどの主立った改善点について、それぞれ短く解説する。表1も参照されたい。

(1) 緊急地震速報を活用した津波警報・注意報の迅速化（2006（平成18）年10月）

平成5年（1993年）北海道南西沖地震のように地震発生後、津波が5分以内に到達する場合、迅速に「津波警報・注意報」を発表する必要がある。「津波警報・注意報」に必要な震源位置



図2 津波予報データベースの概念図

表1 津波警報・注意報の情報発表の改善に関する取組 年表

1	2006（平成18）年10月2日	緊急地震速報を活用した津波警報・注意報の迅速化
2	2007（平成19）年7月2日	地震のメカニズムを活用した、津波警報・注意報の切替・解除
3	2007（平成19）年11月28日	津波予報データベースの改良
4	2008（平成20）年7月1日	津波情報に活用する観測地点の追加
5	2012（平成24）年3月9日	海底津波計の津波警報への活用開始
6	2012（平成24）年6月26日	遠地津波予測の改善
7	2012（平成24）年12月25日	ブイ式海底津波計の津波警報への活用開始
8	2013（平成25）年3月7日	東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報の改善
9	2016（平成28）年7月28日	津波情報に活用する沖合の観測地点の追加
10	2019（平成31）年3月26日	沖合の津波観測から精度良く津波を予測する手法の活用
11	2020（令和2）年6月24日	津波フラッグを用いた津波警報等の伝達開始

と地震の規模を決定するため、地震観測データの確認・修正を行う時間が必要であり、この時間を気象庁では3分を目標としていた。平成18年の8月より先行提供を開始した緊急地震速報の技術を活用することにより、津波警報等をより早く発表することができるようになり、一部の地震では津波警報等発表までの時間を最速2分以内に短縮することが可能となった。

(2) 地震のメカニズムを活用した、「津波警報・注意報」の切替・解除 (2007 (平成19) 年7月)

地震発生メカニズム即時推定システムの運用開始により、地震発生から10分から20分程度で、地震の規模をよりの確に表すモーメントマグニチュード (Mw) の推定や、津波を発生させやすい逆断層や正断層か、あるいは津波を発生させにくい横ずれ断層かの識別ができるようになった。この成果を活用し、Mwと地震発生直後に推定したマグニチュードとの大小を比較して、津波警報等の早期解除や切替を早めに行うことと、横ずれ断層の場合に、津波の高さを再評価し、「津波警報・注意報」の早期解除や切替を行うことができるようになった。

(3) 津波予報データベースの改良 (2007 (平成19) 年11月)

近年の数値シミュレーション技術の進展等を取り入れ、「津波警報・注意報」の精度向上のため、従来からの津波データベースに次のような改善を行った。

- ①津波の伝播過程をより正確に計算するため、海底摩擦による津波の減衰効果を考慮。
- ②より細かい海底地形に対応するよう、現行2または4kmの計算格子を全領域緯経度1分間隔 (約1.5km) に細分化。
- ③沿岸における津波の高さの精度向上のため、平均30km沖合の予測地点を平均15km沖合に変更。

改善効果を見るために、沿岸での津波の高さの予測精度 (各地の観測値と予測値の差の平均) について、過去に発生した津波で検証したところ、2006年 (平成18年) 11月15日の千島列島東方の地震では38%、「昭和58年 (1983年) 日本海中部地震」では15%改善されることが確認された。

(4) 津波情報に活用する観測地点の追加 (2008 (平成20) 年7月)

気象庁、国土交通省港湾局、国土交通省河川局 (当時)、海上保安庁、国土地理院がそれぞれ管理している検潮所の潮位記録がリアルタイムで共有できるようになったことから、津波の観測値を発表する検潮所の数を、これまでの107ヶ所から

163ヶ所に増やした。津波は、沿岸の地形や水深の違いにより、距離がわずかに離れても高さが大きく異なることがあるため、観測地点が増えることにより、きめ細かな情報の提供ができるようになった。また、国土交通省港湾局が設置した宮城県金華山沖と岩手県釜石沖のGPS波浪計のデータの津波情報への活用も開始した。

(5) 海底津波計の津波警報への活用開始 (2012 (平成24) 年3月)

津波観測データの分析調査を進めた結果、津波発生の監視モニターに利用していた海底津波計データを津波警報の発表へ活用する技術の目途が立ったことから、これらのデータの津波警報等への活用を開始した。気象庁管理の房総沖・東海沖・東南海沖、東京大学地震研究所管理の釜石沖 (国研) 海洋研究開発機構管理の釧路沖・室戸沖に、(国研) 海洋研究開発機構管理の地震津波観測監視システム (DONET) と (国研) 防災科学技術研究所管理の相模湾海底地震観測施設を加えた計35地点となり、津波が沿岸に到達する前の、より早い段階で津波の規模を把握できるようになった。

(6) 遠地津波予測の改善 (2012 (平成24) 年6月)

2010 (平成22) 年のチリ中部沿岸の地震による津波では、予測した津波の高さが実際に観測された高さより大きく、予測精度の向上が課題となった。そこで、太平洋の遠い海域で発生し、わが国へ来襲する遠地津波において、予報の基となる津波予報データベースを見直し、津波の伝播シミュレーションに影響の大きい海底地形データの解像度を約3倍、予想値を評価する国内・海外の検潮所等の観測点を約13倍、想定地震数を約6倍に拡充した。また、日本に到達するまでに時間を要する遠地からの津波は、予め計算しておいた津波予測データベースの結果に加え、震源の位置や断層面の向き・傾き等を用いた高速化シミュレーションをその場で実施し、その予測結果も用いて、より精度の良い警報を発表することができるようになった。この津波伝播シミュレーションの高速化に伴い、例えば、チリ沖で発生して太平洋全域に伝播し日本に襲来する津波を、新しい海底地形データ解像度で36時間分計算した場合、従来の30時間程度から約2時間に短縮して実施できるようになった。

(7) ブイ式海底津波計の津波警報への活用開始 (2012 (平成24) 年12月)

平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震の震源域の周辺



で発生する津波の早期検知のため、当該海域付近へのブイ式海底津波計3機の整備を進めた。データ内容、受信状況等が良好であることを確認できた順に、これらのデータの津波警報等への活用を開始した。これにより、東北地方沖合の日本海溝付近で発生した津波の場合、地震発生後10分程度での津波の検知が可能となった。

(※平成28年7月の沖合の観測地点の追加に伴い、平成28年8月にこれら3機のブイ式海底津波計の運用は終了した。)

(8) 東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報の改善 (2013 (平成25) 年3月)

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、気象庁では、津波警報等の改善の検討を進め、平成25年3月より改善された津波警報等の運用を開始した。大きな改善点は次の2点である。

① 規模の早期推定と、予想される津波の高さの区分の改善

マグニチュード8を超えるような巨大地震では、観測データの確認・修正を行う時間として想定している3分程度では、正確な地震の規模を推定することができない。そこで、より巨大

な地震である可能性が疑われる場合には、その海域で想定される最大のマグニチュード等を用いて津波警報の第1報を発表する。想定される最大のマグニチュード等を用いた場合は、的確な地震規模が求まるまでは、数値ではなく「巨大」や「高い」等の定性的な表現を用いる(図3、図4)。また、予想される津波の高さを従来の8区分から5区分に変更し、高さ予想の区分の高い方の値を発表する。

② 津波観測に関する情報の改善

津波観測に関する情報では、第1波の到達時刻と初動を発表するとともに、観測された最大波を「これまでの最大波」として発表するが、観測値が予想される津波の高さより大幅に低い間は、高い津波が来ないと誤解されないよう「観測中」と発表する。

また、沖合の観測データを監視し、新たに設けた「沖合の津波観測に関する情報」の中で、沿岸の観測よりも早く、沖合で観測した津波の時刻や高さを伝えるとともに、沖合の津波観測データから推定される沿岸の津波の高さや到達時刻を、津波予報区単位で発表する。沖合で観測された津波の最大波についても、基準に達しない場合は、沖合の観測値を「観測中」、推定

情報種類		津波注意報	津波警報	大津波警報		
予想される津波の高さ	定性表現	表記しない	高い	巨大		
	数値	1m (0.2m-1m)	3m (1m-3m)	5m (3m-5m)	10m (5m-10m)	10m超 (10m-)

図3 東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報等および津波の予想高さの表現

到達予想時刻・予想高さ		
大津波警報		(予想高さ)
〇〇県	津波到達中と推測	巨大
××県	10時30分	巨大
:		
津波警報		
△△県	11時00分	高い
□□県	12時00分	高い

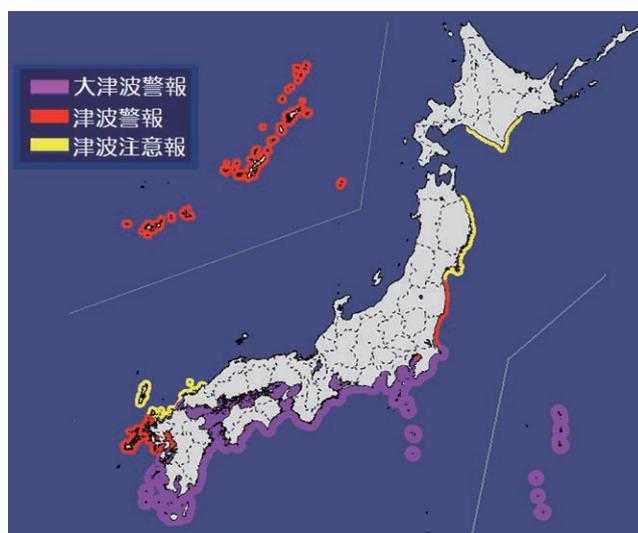


図4 巨大地震が発生した際の津波警報等の発表イメージ

される沿岸での津波の高さを「推定中」と発表する。

(9) 津波情報に活用する沖合の観測地点の追加 (2016 (平成28)年7月)

(国研) 防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) 及びDONETのケーブル式海底津波計156地点のデータについて、津波情報への活用を開始した。これにより、沖合での津波の検知が最大20分程度早くなることから、津波警報等の更新及び沖合の津波観測に関する情報の迅速化や精度向上が期待される(その後、ケーブル式海底津波計の整備が進み、津波情報において津波の観測値を発表する津波観測点は令和2年現在、約400点である)。

(10) 沖合の津波観測から精度良く津波を予測する手法の活用 (2019 (平成31)年3月)

これまで、沖合の観測点で津波が観測されると、沖合と沿岸での津波の高さの関係についての経験則を用いて沿岸の津波の高さを予測し、警報等を更新することとしていた。しかし、この手法で更新できるのはその沖合観測点直近の津波予報区のみであり、また、津波は沖合から沿岸へ直進すると仮定していることから、実際の津波が海底地形の影響などにより沿岸へ直進しない場合等には予測精度が低下することがあった。

このため、複数の沖合観測点で観測される津波波形データを用いて、より精度良く津波の高さを予測する手法 (tFISH) を新たに開発し、津波警報等の更新に活用することとなった。tFISHは、沖合津波観測網により観測される津波波形データから波源を推定し、その波源から遠方まで津波が伝わる過程を、沿岸への津波の到達前に津波伝播シミュレーションによって把握し、沿岸の津波の高さを予測するものである。

(11) 津波フラッグを用いた津波警報等の伝達 (2020 (令和2)年6月)

津波警報等は、テレビやラジオ、携帯電話、サイレン、鐘等、様々な手段で伝達されるが、令和2年夏から海水浴場等で「津波フラッグ」による視覚的伝達が行われるようになった(図5)。「津波フラッグ」を用いることで、聴覚に障害のある方や、波音や風で音が聞き取りにくい遊泳中の方などにも津波警報等の発表を伝えることができるようになった。

4. 終わりに

近年行ってきた気象庁の津波警報等の改善について解説させて頂いた。1つ1つを見れば、情報の内容の改善であったり、



図5 海岸で津波フラッグを振っているイメージ (写真 公益財団法人日本ライフセービング協会提供)

伝え方の改善であったり、細かな技術的な改善であったり、実に多岐にわたる改善を行ってきていることが分かる。「改善」と聞くとTOYOTA自動車の「カイゼン」「Kaizen」を思い浮かぶ方も多いはずである。「カイゼン」とは辞書的な意味の「悪いところを改めていく」というよりも「日々の気づきの中で、少しずつでもできることを改めて良くしていく、さらに一度きりではなく継続するもの」という意味とのことである。まさしく、気象庁の津波警報等の「改善」もこの意味と同様の「カイゼン」であると思う。今後も、国民の「いのちとくらしをまもる防災減災」につながるよう、津波警報等のさらなる「カイゼン」は終わり無く続いていくのである。

参考文献

1. 津波予報業務の変遷 験震時報第74巻 2011
2. 東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善 気象庁報告書 2012
3. 気象庁報道発表資料 (各改善毎に報道発表を行っている)
4. 気象庁HP <https://www.jma.go.jp/>