

東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報の改善

永岡利彦

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震で発生した津波により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸の地域を中心に甚大な被害となったことに鑑み、当時、気象庁が発表した津波警報の内容及びタイミング等を検証するとともに、人命を守る防災情報としての津波警報をどのように改善すべきかについて検討を進めてきた。その結果、明らかとなった課題等を踏まえ、より避難行動に結びつくよう津波警報等の発表方法及び情報文の内容を改善することにした。本稿では、これまでの取り組み状況と改善内容の概要について述べる。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、津波警報、地震、津波、マグニチュード、モーメントマグニチュード、GPS波浪計、海底水圧計

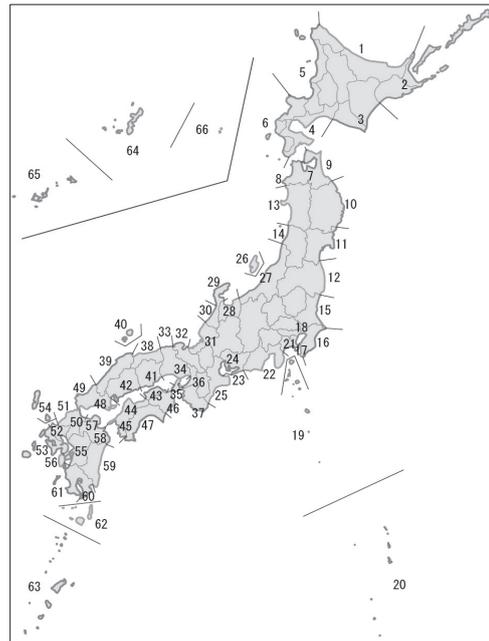
1. はじめに

平成23年3月11日14時46分に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」は、我が国の観測史上最大となるマグニチュード9.0を記録し、東北地方から関東地方にかけての太平洋沿岸に高い津波が来襲し、各地で甚大な被害が発生した。気象庁では、地震発生3分後に津波警報の第1報を発表したが、地震の規模や津波の高さ予想は、実際を大きく下回るものであった。こうした事態を受け、有識者や関係防災機関等からなる検討会等を開催し、改善の方向性や具体的な改善策について提言をいただくとともに、広く一般等から意見募集を行うなど改善に向けた検討を進めてきた。

2. 気象庁の津波警報

気象庁では、国内200箇所以上に設置している地震計の観測データをリアルタイムで収集し、24時間体制で地震活動を監視している。地震発生時には、これらのデータを活用して震源の位置や地震の規模(マグニチュード)を推定し、津波による被害のおそれがある場合には、ただちに日本の沿岸を66に区分した津波予報区(図-1)ごとに津波警報・注意報を発表している。

津波の予測は、津波を発生させる可能性のある様々な地震について、震源の位置及び深さ、マグニチュー



図内番号	津波予報区	図内番号	津波予報区	図内番号	津波予報区
1	オホーツク海沿岸	23	愛知県外海	45	愛媛県宇和海沿岸
2	北海道太平洋沿岸東部	24	伊勢・三河湾	46	徳島県
3	北海道太平洋沿岸中部	25	三重県南部	47	高知県
4	北海道太平洋沿岸西部	26	佐渡	48	山口県瀬戸内海沿岸
5	北海道日本海沿岸北部	27	新潟県上中下越	49	山口県日本海沿岸
6	北海道日本海沿岸南部	28	富山県	50	福岡県瀬戸内海沿岸
7	陸奥湾	29	石川県能登	51	福岡県日本海沿岸
8	青森県日本海沿岸	30	石川県加賀	52	佐賀県北部
9	青森県太平洋沿岸	31	福井県	53	長崎県西方
10	岩手県	32	京都府	54	宍岐・対馬
11	宮城県	33	兵庫県北部	55	有明・八代海
12	福島県	34	兵庫県瀬戸内海沿岸	56	熊本県天草灘沿岸
13	秋田県	35	淡路島南部	57	大分県瀬戸内海沿岸
14	山形県	36	大阪府	58	大分県豊後水道沿岸
15	茨城県	37	和歌山県	59	宮崎県
16	千葉県九十九里・外房	38	鳥取県	60	鹿児島県東部
17	千葉県内房	39	島根県出雲・石見	61	鹿児島県西部
18	東京湾内湾	40	隠岐	62	種子島・屋久島地方
19	伊豆諸島	41	岡山県	63	奄美群島・トカラ列島
20	小笠原諸島	42	広島県	64	沖縄本島地方
21	相模湾・三浦半島	43	香川県	65	宮古島・八重山地方
22	静岡県	44	愛媛県瀬戸内海沿岸	66	大東島地方

図-1 津波予報区

ド別に、津波の発生とその伝搬をあらかじめシミュレーションし、計算結果をデータベース化（約10万通り）している。実際に地震が発生した際には、その地震の震源の位置及び深さ、マグニチュードを基にデータベースから検索することで迅速に津波警報を発表し、津波到達予想時刻や予想される津波の高さの情報を発表している。また、気象庁及び関係機関が設置している津波観測点（国内約190箇所）の津波の状況を監視し、津波が観測された場合は、第1波の到達時刻や津波の最大の高さ等の情報を発表している。

3. 東北地方太平洋沖地震での津波警報発表の経緯

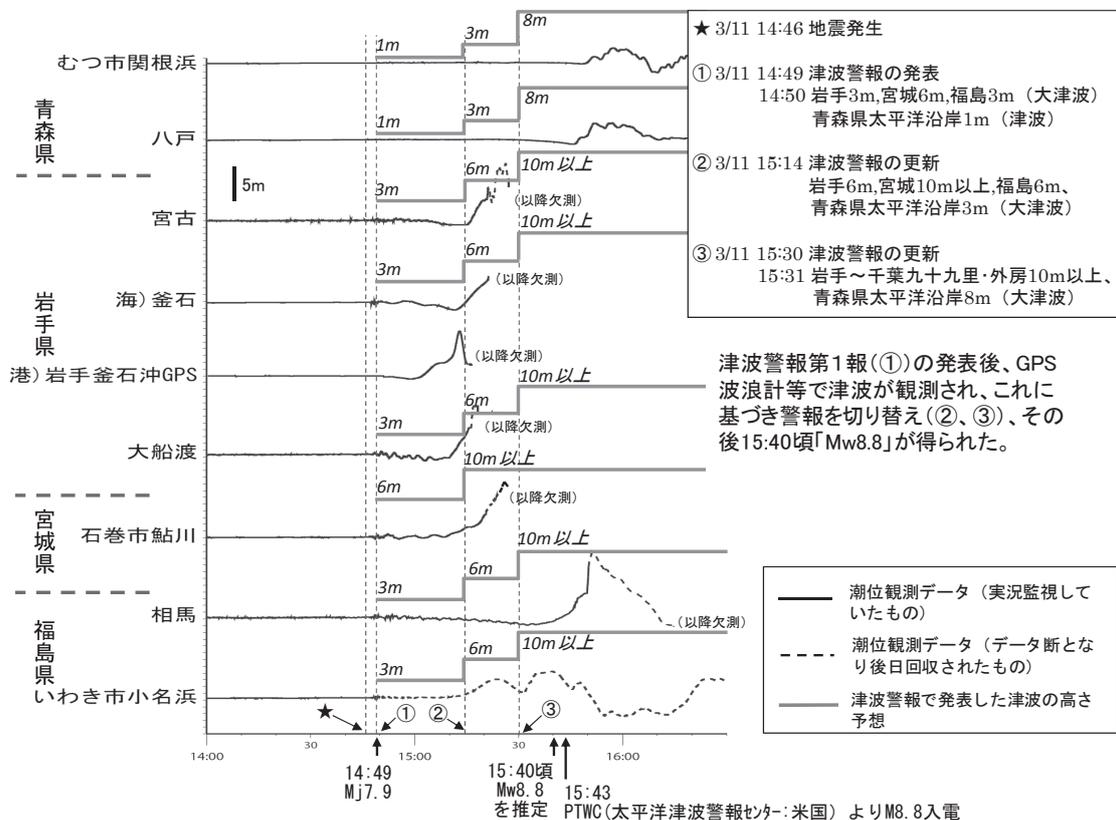
平成23年3月11日14時46分に東北地方太平洋沖地震が発生し、地震計で観測された地震波形データを解析し、地震の震源位置及び深さ、マグニチュードを求めた。計算されたマグニチュード（以下Mとも記述）は7.9であったが、これは想定されていた宮城県沖地震（海溝寄りの連動型M8.0前後）とほぼ一致していること、地震波形記録に長周期成分の卓越や振幅の成長が見られなかったことから、計算されたマグニチュードは適切に評価しているという認識であった。このM7.9に基づき、地震発生3分後の14時49分に

津波警報の第1報（津波の高さ予想：岩手県3m、宮城県6m、福島県3m等）を発表した。

地震発生約15分後に計算される、巨大地震でも正確な地震規模が推定できるモーメントマグニチュードを用いて津波警報を更新する予定であったが、計算に使用する広帯域地震計の観測データが、国内のほとんどの地点で振り切れたため求めることができなかった。

その後、15時10分頃から、岩手県釜石市の沖合約10kmに設置されたGPS波浪計（国土交通省港湾局）において、急激な水位の上昇が観測されたため、15時14分に津波警報更新の第2報（津波の高さ予想：岩手県6m、宮城県10m以上、福島県6m等）を発表し、その後も津波の観測状況に基づき津波警報の対象範囲を拡大するなど続報を順次発表した。津波警報発表の経緯を図一2に示す。

東北地方の太平洋沿岸を中心に高い津波（岩手県の宮古8.5m以上、大船渡8.0m以上、宮城県の石巻市鮎川8.6m以上、福島県の相馬9.3m以上等）を観測したが、観測施設の流失や機器障害等により観測データが得られなくなり、更に高い津波であった可能性もある。沿岸の観測施設で観測された津波の高さを図一3に示す。なお、後日、気象庁が行った現地調査では、津波の痕跡から推定した津波の高さが16mに達した所（岩手県大船渡市三陸町）があった。



図一2 津波警報発表の経緯（東北地方太平洋沖地震）
海：海上保安庁の観測点，港：国土交通省港湾局の観測点

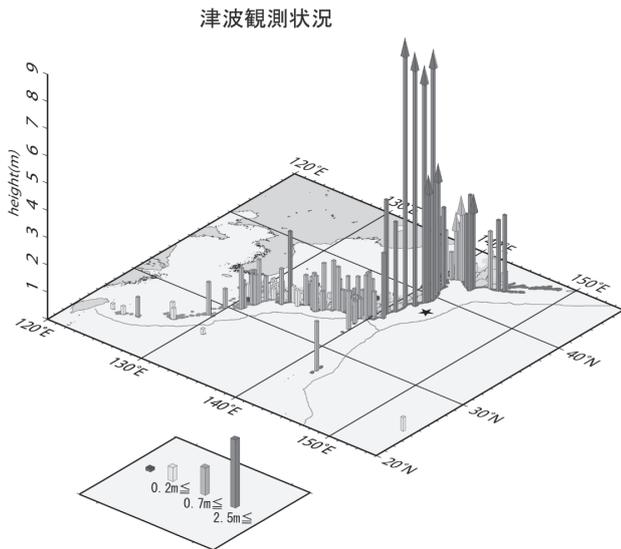


図-3 津波観測施設で観測された津波の高さ
矢印は、津波観測施設が津波により被害を受けたためデータを入力できない期間があり、後続の波でさらに高くなった可能性があることを示す

4. 津波警報の課題と改善策

東北地方太平洋沖地震による津波被害の甚大さを踏まえ、気象庁では、津波警報をどのように改善すべきかを検討するため、有識者や関係防災機関等の参加による「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改善に向けた勉強会」を開催し、ここでの議論等を踏まえ、平成23年9月に「津波警報改善の方向性」を公表した。その後、津波警報など情報文の具体的な内容等を検討するため、「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する検討会」を開催し、平成24年2月に「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する提言」をまとめ公表した。

以下に津波警報の課題と提言を反映した改善策の概要について述べる。

(1) 津波警報の課題

東北地方太平洋沖地震における津波警報等の課題について以下のとおり整理した。

- ①地震発生3分後に発表した津波警報の第1報において推定したM7.9が過小評価であった。また、推定したマグニチュードが過小である可能性を認識できなかった。M8を超えるような巨大地震において、迅速にその規模を推定する手法を導入し、津波警報の第1報に活用することが課題。
- ②マグニチュードを過小評価した中で発表した「予想される津波の高さ3m（岩手県、福島県）」が、過去の経験等から防潮堤を越えることはないと思ったなど、避難の遅れにつながった例があったと考えら

れる。津波警報の第1報における予想される津波の高さに関する情報の発表のあり方が課題。

- ③地震発生約15分後に計算される巨大地震でも正確な地震規模の推定が可能なモーメントマグニチュードが、地震による大きな揺れにより、国内に配置していたほぼ全ての広帯域地震計が測定範囲を超えたため計算できず、津波警報更新の続報を迅速に発表できなかった。

また、GPS波浪計より更に沖合に設置されているケーブル式海底水圧計（津波計）のデータの、津波警報更新への活用手段が不十分であった。津波警報の更新において、モーメントマグニチュードを迅速に求められるよう強震動まで測定できる広帯域地震計の活用とともに、沖合の津波観測強化と利用のための技術開発が課題。

- ④津波観測に関する情報で発表した初期段階の小さな津波の観測結果「第1波、0.2m」等が、今回の津波はたいしたことはないと思ったなど、避難の遅れや中断につながった例があったと考えられる。津波

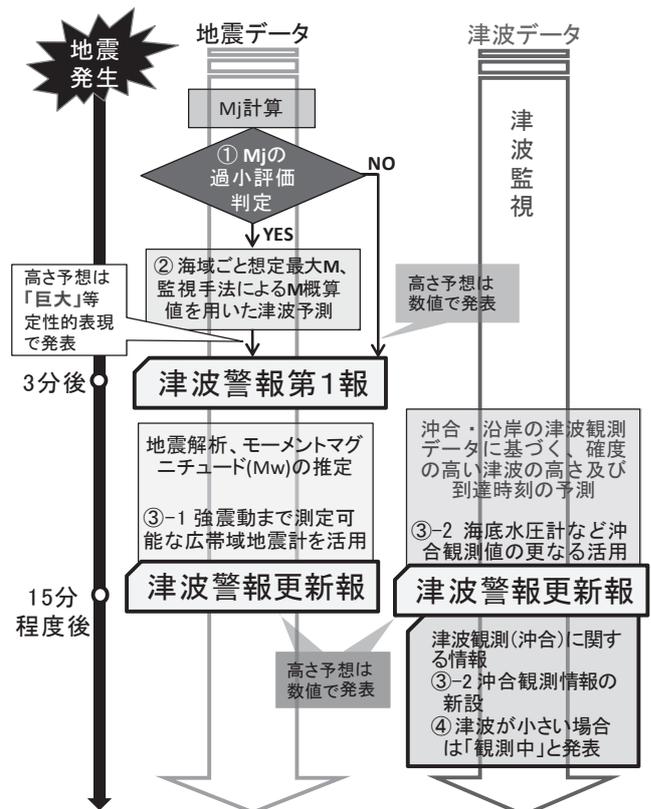


図-4 改善後の津波警報・情報発表の流れ

- ・気象庁マグニチュード (Mj)
短周期の地震波データを計算に使用
長所：迅速性
短所：M8を超えると過小評価
- ・モーメントマグニチュード (Mw)
長周期の地震波データを計算に使用
長所：M8を超えても正確に推定可能
短所：計算に時間（15分程度）を要する

観測情報の伝え方、情報文のあり方が課題。

(2) 津波警報の改善策

上記の課題を踏まえた津波警報の改善策について、以下のとおり整理した。また、改善後の津波警報及び情報発表の流れを図—4に示す。

①改善の基本方針

津波警報の第1報は、避難に要する時間をできるだけ確保できるよう、地震発生後3分程度以内の発表を目指す従来の方針は堅持し、津波の波源（海底の地殻変動）の推定に不確定要素がある場合は、安全サイドに立った津波の推定に基づいた津波警報を発表し、その後、得られる地震・津波データ等の解析結果に基づき、より確度の高い津波警報に更新するものとする。

なお、津波警報は地震発生後約3分で発表されるが、沿岸付近で大きな地震が発生した場合に間に合わないことがあること、停電や通信断等により情報が伝わらない場合があることから、「強い揺れを感じたら自らの判断で避難する」ことの基本について周知徹底したうえで、津波警報を効果的に機能させる必要がある。

②技術的な改善策

a) 津波警報の第1報で使用するマグニチュード

M8を超えるような巨大地震や、地震規模から推定されるよりも大きな津波を伴う地震（津波地震）に対しては、マグニチュードを3分程度で正確に算出することは技術的に困難である。このため、計算されたマグニチュードを過小評価している可能性を速やかに認識できる監視・判定手法（強震域の広がり、長周期変位波形による長周期成分の卓越等）を導入し、より規模の大きな地震の可能性があると判定した場合には、当該海域で想定されている最大のマグニチュード、または前述の判定手法から得られるマグニチュードの概算値を使用し、安全サイドに立った津波警報の第1報を発表する。

b) 津波警報の迅速な更新

津波警報の第1報の発表後、最新の地震・津波観測データに基づき、確度の高い津波警報に更新する。なお、更新に必要なモーメントマグニチュードを地震発生後15分程度で迅速かつ安定的に求めるため、大きな揺れでも振り切れない広帯域地震計の整備を進めている。また、GPS波浪計より更に沖合にブイ式海底水圧計（津波計）を整備し、他機関のケーブル式海底水圧計の観測データと合わせて津波監視に活用するとともに、データ利用に係る関連技術の開発を進める。

③津波警報等の情報文の改善内容

a) 津波警報の発表基準と津波の高さ予想の区分

津波の高さと被害との関係の調査結果等から、津波警報等の発表基準及び津波の高さ予想の区分を表—1のとおりとする。予想される津波の高さには誤差があることや、とりうる防災対応の段階等を踏まえ、現行の8区分を5区分とする。また、情報で発表する予想される津波の高さは、簡潔な単一の数値で、危機感を喚起するため高さ予想区分の範囲の高い方の数値とする。

表—1 発表基準と津波の高さ予想区分

警報・注意報の分類	現行	改善後		
	発表する津波の高さ	発表基準 (h = 津波の高さ)	発表する津波の高さ	
			数値	定性的
大津波警報	10 m 以上	$10\text{m} < h$	10 m 超	巨大
	8 m			
	6 m	$5\text{m} < h \leq 10\text{m}$	10 m	
	4 m	$3\text{m} < h \leq 5\text{m}$	5 m	
	3 m			
津波警報	2 m	$1\text{m} < h \leq 3\text{m}$	3 m	高い
	1 m			
津波注意報	0.5 m	$0.2\text{m} \leq h \leq 1\text{m}$	1 m	(表記なし)

また、計算されたマグニチュードに過小評価の可能性があると判定し、当該海域で想定されている最大のマグニチュードを適用するなどして津波警報の第1報を発表する場合は、地震規模推定の不確定性が大きいと考えられることから、予想される津波の高さは、数値ではなく「巨大」など定性的表現で発表し、通常の地震とは異なる非常事態であることを伝えることとする。

なお、地震発生約15分後には、モーメントマグニチュードによる確度の高い津波予測や、津波観測結果に基づいて津波警報の更新を行い、この場合の予想される津波の高さは数値で発表する。また、従来の「津波警報（大津波）」等の名称は、情報文中では広く一般的に用いられている「大津波警報」と表現する。

b) 津波到達予想時刻の発表

津波の到達予想時刻は、津波予報区で最も早い時刻及び主な津波観測地点における時刻を発表しており、比較的精度はよいが、同じ津波予報区内でも場所によって1時間以上違う場合があることから、このような違いを情報文において明示して伝える。

c) 津波観測データの発表

観測された津波の高さが低い場合、今回の津波は小さいものとの誤解を与える恐れがある。一方、津波が

観測されたという事実を伝えることも重要であることから、津波の第1波については、到達した時刻と押し・引きのみ発表し、最大波については、観測された津波の高さが予想されている津波の高さより十分低い場合は、観測された数値をそのまま発表せず、「観測中」と定性的な表現とする（表—2）。なお、既に最大波が観測されたと誤解を与えないよう「これまでの最大波」と表現する。

表—2 津波観測に関する情報の発表内容

発表中の警報・注意報	現 行		改善後	
	第1波	最大波	第1波	最大波 (数値発表基準)
大津波警報	・到達時刻 ・押し引き ・第1波の高さ	すべて数値で発表*)	・到達時刻 ・押し引き	1 m < 観測値 (基準に達しない場合は「観測中」)
津波警報				0.2 m ≤ 観測値 (基準に達しない場合は「観測中」)
津波注意報				すべて数値で発表*)

*) ごく小さい場合は「微小」で発表

津波は、何度も繰り返し来襲し、第1波が最大になるとは限らず、第2波以降の後続波がより大きくなる場合が多く、数時間以上経ってから最大波が観測される場合があることから、警報解除まで避難を継続することが重要である。

d) 沖合の津波観測データの発表

東北地方太平洋沖地震では、津波警報更新においてGPS波浪計など沖合の津波観測の有効性が実証された。沖合津波観測データは、現在、沿岸での観測データと合わせて発表しているが、これまでの観測情報と

は別に新設し、沖合において津波をいち早く検知し、間もなく沿岸に津波が押し寄せる恐れがあることを直ちに発表することとする。なお、水深の深い沖合で観測された津波は、水深が浅い沿岸に近づくほど高さが高くなる性質があるため、沿岸で推定される津波の高さを発表しているが、沿岸で推定される高さが、予想されている津波の高さよりも低い場合は、「推定中」と定性的表現で発表することとした。

5. おわりに

今般の改善に伴う津波警報等の情報文の変更については、気象庁システムの改修を行うが、情報をオンラインで利用している防災関係機関においても改修等の対応が必要であることから、平成25年3月から新しい情報文の運用を開始する予定である。また、津波警報の改善内容や津波防災に関する周知広報を実施するとともに、津波警報等が住民に確実に伝達されるための取り組みについて、関係機関と連携し推進していく。

JICMA

《参考文献》

- ・気象庁（2011）：地震・火山月報（防災編）平成23年3月、〈<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201103/201103index.html>〉。
- ・気象庁（2011）：津波警報の改善について、〈http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tsunami_keihou_kaizen/index.html〉。

【筆者紹介】

永岡 利彦（ながおか としひこ）
気象庁
地震火山部 地震津波監視課
調査官

