

教訓ノート2-5

2. 非構造物対策

津波・地震警報



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



世界銀行

著者

石渡幹夫：世界銀行

教訓ノート2-5

2. 非構造物対策

津波・地震警報

警報システムによって津波など自然災害による被害を軽減し、人命および財産の損失を防ぐことができる。正確な情報をすばやく伝えられれば、高台へ避難したり、列車を停止させたりといった対策を取ることができる。ただし、警報システムは地域社会の対応に役立つものでなければならない。日本は世界一高度な津波警報システムを開発してきたにもかかわらず、3月11日の警報では津波が過小評価され、避難行動が鈍り被害を拡大させた可能性もある。

知見

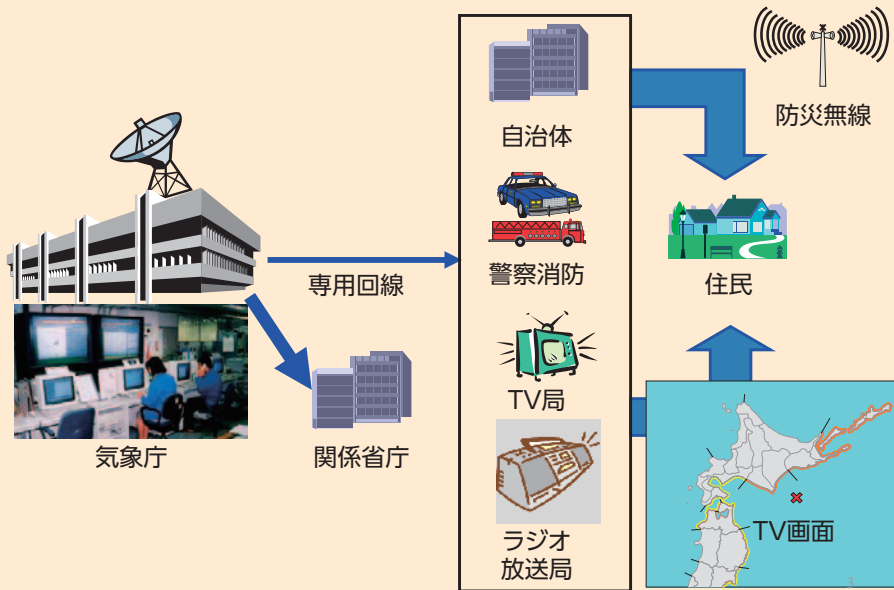
地域社会による津波警報

2011年3月11日より前から、日本は衛星通信や数百ヶ所のリアルタイム観測所を備えた高度なハイテク津波警報システムをすでに開発していた。3月11日にはハイテクシステムだけでなく、地域社会の緊急対応と警報が多数の人命を救う決め手となった。訓練された住民組織である消防団（KN2-1を参照）が、拡声器、半鐘、サイレン、消防車のスピーカーなど様々な手段を使い、被災地全体の各地域社会に警報を流した。塩竈市桂島で30人の障害者を含む島民全員が安全に避難できたのは、消防団がすべての家を訪問して高台への避難を促したからである。大槌町や名取市では、消防団員は自らの命を犠牲にし、津波が襲うその時まで半鐘を鳴らし続けたり、拡声器で指示を与えたりした。

国の津波警報

気象庁は24時間体制で全国の地震活動を観測している。地震の震源やマグニチュードを即座に計算し、地震発生後の3分以内に津波警報を発表している。その情報は防災機関、地方自治体およびマスコミ（図1とBox 1）に迅速に伝えられる。気象庁はこの数年、

図1：津波警報システムの情報の流れ



出所：気象庁

津波・地震観測・警報システムに毎年約20億円を投じてきた。

2011年3月11日、気象庁は地震発生3分後の14時49分に津波警報の第1報を発表した。住民は避難を開始し、関係機関は津波への備えを始めた。

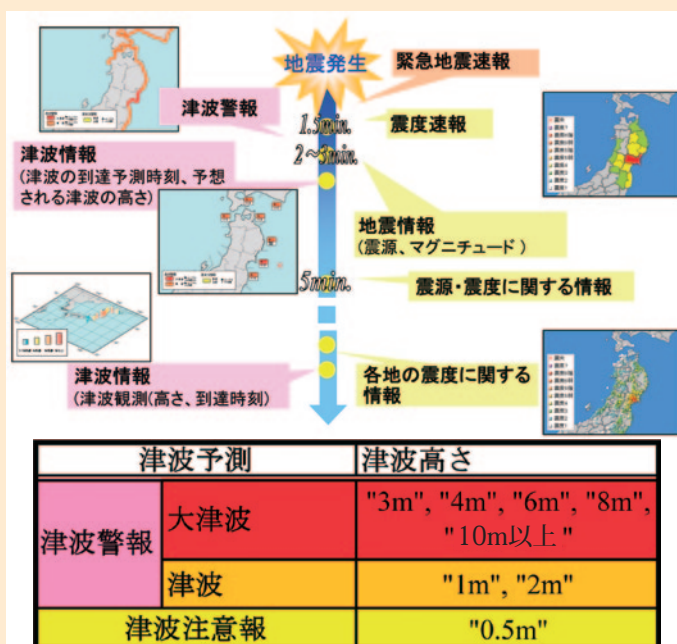
ところが今回、津波高さを予測し住民へ情報を伝える上で、いくつかの深刻な問題点が見つかった。津波高さを過小評価したことで住民の避難の遅れにつながったと考えられるのである。気象庁は岩手、宮城、福島県の津波高さを実際よりもかなり下回る3～6メートルと当初予測した。これは気象庁が地震のマグニチュードをMj7.9（気象庁マグニチュード）と過小評価したからである。実際はMw（モーメント・マグニチュード）9.0であった¹。今回の大地震では大半の広帯域地震計が振り切れてしまったため、気象庁は通常通りに15分以内にモーメント・マグニチュードを計算することができなかった。また、重要な予測情報を提供する沖合い海底のケーブル式水圧計は津波情報を更新する仕組みになっていなかった。気象庁は地震発生の13分後、第1波引き波0.2mと報じている。

1 気象庁マグニチュードは3分以内に即座に計算されるメリットはあるが、M8を超える地震のマグニチュードを過小評価する傾向がある。世界では一般的にモーメント・マグニチュードが使われているが、計算に10分程度かかる。

Box 1：日本の津波警報

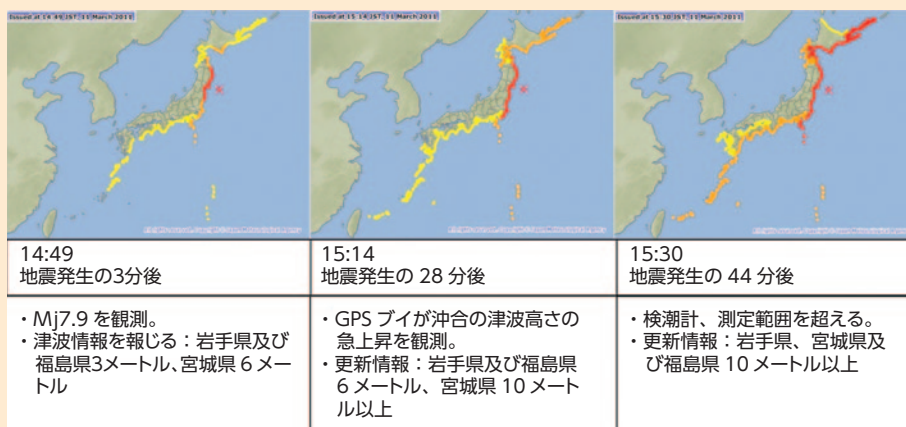
気象庁は様々な地震シナリオに対して津波のコンピュータシミュレーションを行い、津波の到着時間や高さなどの計算結果をデータベースに保存している。計算には時間がかかるため、地震発生後にリアルタイムシミュレーションで警報を迅速に発表することはできない。地震が発生するとシステムは直ちに震源とマグニチュードを計算し、この震源とマグニチュードにあう地震を検索し、データベースから最適な津波シミュレーション結果を選択する。予測される津波高さに基づき、気象庁は津波予報を発表する。津波予報は、津波警報と注意報の二つに分類される。警報はさらに津波と大津波に区分される。

1941年に三陸沖沿岸を対象とした津波警報組織が発足してから現在に至るまで、警報システムは改善されてきた。1952年に全国に拡大し、1960年チリ地震津波後に遠地津波も対象とした。1993年北海道南西沖地震では、警報が発表される前に津波が到着したためシステムを改善し、1999年に想定される津波高さの発表を開始した。



出所：気象庁

図2：2011年3月11日の更新津波警報の時系列



出所：気象庁

そして地震発生の約30分後、予想される高さを6～10mへ、約45分後には10m以上へと更新した（図2）。しかし、その更新情報は住民がすでに避難を始めていたために全員に届いたわけではなかった。電力・通信設備は地震で機能しなくなっていたのである。

政府の面接調査によると、住民のほぼ半分が被災地で津波情報や避難指示を受けておらず、60～70%が津波高さの更新情報を得ていなかった。

震災の教訓に基づき、気象庁は津波警報で以下のように改善すべく計画している（図3）。

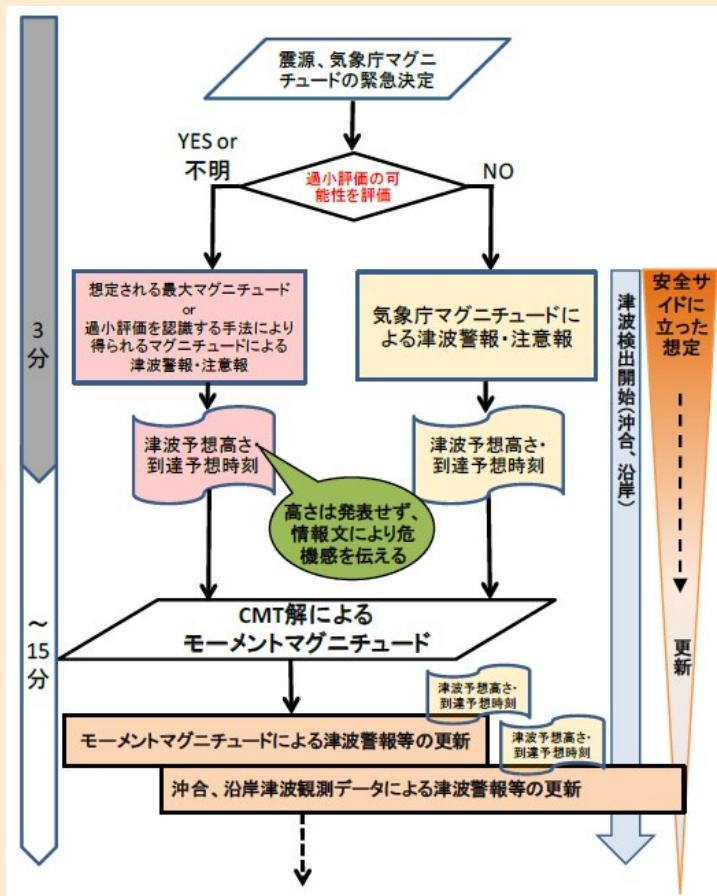
1. 避難判断に有効な津波情報を報じる。その情報は明確かつ迅速とし、重要なメッセージを強調して避難行動を促す。
2. 地震発生の3分以内に第1報を速やかに報じ、観測データに基づいて更新していく。
3. M8を超えるような巨大地震の可能性を検知した場合、最初の津波高さの予想が不確かであることを考慮し、定性的な表現とする。
4. 「強い揺れを感じたら自らの判断で逃げる」という意識を高める。
5. 津波警報の精度を向上させて信頼性を高めることで、住民の避難判断に対してより正確な情報を与える。

日本放送協会（NHK）は震災時の番組を検証し、警告を報じるアナウンサーの口調がどちらかという淡々としていて説得力や緊急性に欠けることに気づいた。NHKは番組での警告の出し方について緊迫感のあるアナウンスで避難行動を促すよう見直している。

緊急地震速報

緊急地震速報は、地震の揺れが来るまでに準備時間を与え、列車を減速したり、エレベーターを停止したり予防措置を取ることで被害の軽減を目指す（図4）。気象庁はリア

図3：津波警報の新しい手法



出所：気象庁

Mj：気象庁マグニチュード、Mw：モーメント・マグニチュード

リアルタイムの観測データに基づき、地震の震源、震央、震源の深さ、マグニチュードを即座に特定する。強振動の分布を推定し、その振動が到達するまでに行政機関、民間企業、テレビやラジオなどのマスコミに警報を伝える。例えば、ガス会社や鉄道会社はこの警報に基づいてサービスを停止する。また、携帯メールでも警報を発表する。気象庁は2007年にこの緊急地震速報を開始した。

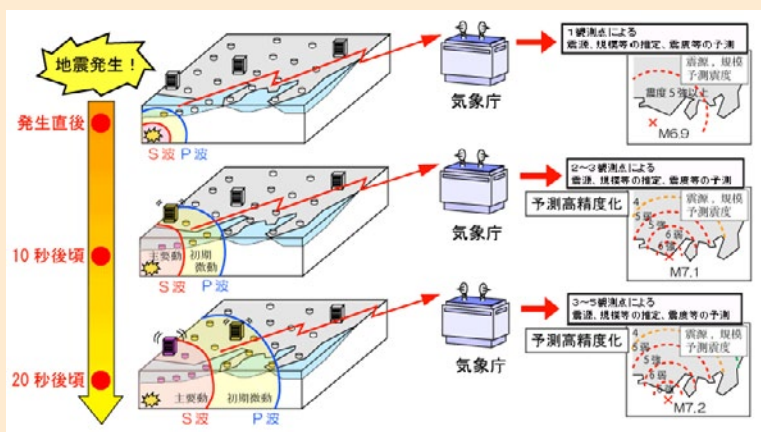
2011年3月11日の震災では、気象庁は最寄りの地震観測所で第1波を検知してから8.6秒後に緊急地震速報の第1報を報じた。本震が仙台市を襲うまでに準備時間が15～20秒あった。神奈川県の西湘高校では本震が到着するまでに生徒がこの時間を利用して机の下に隠れたり、危険な場所から離れた。教師や児童が定期的に避難訓練を行っていた小学校では、警報を受けると同時に冷静に避難を開始した。

気象庁の調査によると、住民の80%以上が緊急地震速報は身を守るのに役立つと考えている。住民の約60%が机の下に隠れるなどの行動を取った。速報の約40%が不正確であり地震の大きさを過小評価しているものの、80%以上の住民がこのシステムを引き続き利用したいと考えている。気象庁は予測モデルの改善を図ることで地震速報の精度向上に努めている。

早期地震検知システム

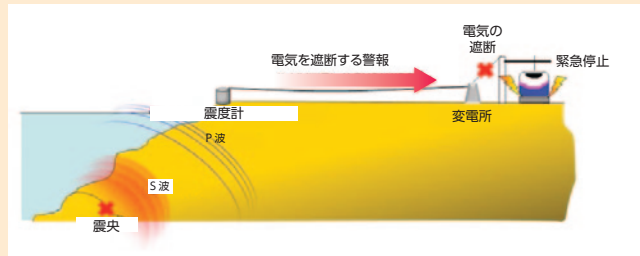
3月11日の地震発生当時、最高速度に近い時速270kmで走行中の新幹線2本を含めた計19本の新幹線が東北本線を走行中だった。地震発生直後、列車はすべて安全に停止

図4：緊急地震速報



出所：気象庁

図5：地震早期検知システム



出所：国土交通省

することができ、死傷者は一切出なかった。これは早期検知システムが第1波を検知して自動的に電源を切断して列車を停止させたためである（図5）。鉄道各社は1992年にこのシステムの利用を開始し、それ以降改良を重ねてきた。2004年の中越地震では、1本の新幹線が震央の近辺を走行していたため脱線したが、それでも死傷者はでなかった。その後鉄道各社はP波を検知して警報を出すまでの準備時間を3秒から1～2秒へ短縮するよう改良した。また、地震観測・検知点の数を増やし、現在、全国で239地点となっている。

教訓

以下の教訓は警報システムの開発に役立つ：

- 地震警報システムは、新幹線を停止させ、住民が予防措置を取る準備時間を与えることで損害と犠牲者を減らすことができた。日本は技術を開発しこうしたシステムを改善してきた。
- 地域社会の迅速な緊急対応を促すよう、警報システムを活用することが防災の鍵である。技術がいかに進歩しようが、基本は「強い揺れを感じたら自らの判断で津波から逃げること」である。
- 津波警報の情報が不正確、不適當であると避難行動を誤らせ、また遅延させ、犠牲者数を増やす可能性もある。警報の予測は不正確になる可能性があること、予測技術に限界があることを踏まえ、犠牲者を減らすために安全側に、起こりうる最大規模で、出すべきである。
- 情報提供には様々な方法を確保しなければならない。危険にさらされている住民全

員に警報を伝えなければならないが、震災では情報を実際に知りえたのは半数にすぎなかった。電力・通信設備は地震で機能しなくなったため、避難時に更新情報を住民へ提供することは困難であった。

- ・ 住民が災害情報・メッセージを理解でき、実施機関が住民の災害対応の実態を理解できるように、災害リスクコミュニケーションを定期的の実施しなければならない (KN5-3)。

途上国への提言

警報システムは住民の命を救い、洪水、津波、地震、土砂災害など自然災害による経済的被害を減らすことができる。また、高台への避難、落下物からの保護、列車が脱線することなく停止させるなど対策を取ることができる。

低コストのシステムから始める 警報システムは簡単な方法から始めることができる。東日本大震災では半鐘やサイレンなど安価な機器が警報手段として広く使用された。10年前まで日本では地域社会の観測員が河川の水位を監視し、電話で関係機関へ連絡していた。警報システムはこうした基本システムに基づき、自動観測機器やテレメータなどの機器へ交換していくことで高度化することができる。

地域社会活動と連携 3月11日に警報を流して人命を救った消防団が実証するように、地域社会単位の行動が重要である。地域社会が準備する警報システムや他の対策は、行政の能力や人材に限られている途上国に特に適用できるものと思われる (Box 2)。

技術開発とその限界の理解 効果のある警報システムの開発には、洪水予測、津波シミュレーション、通信システム、地震観測など様々な技術がすべて必要とされるが、その一方で技術には限界があることも理解すべきである。3月11日、津波高さを過小評価したことが、住民の避難を遅らせ、被害を拡大させた可能性もある。

双方向のリスクコミュニケーション 地域社会、行政、専門家の間で潜在的なリスクに関する情報や意見の交換を行うべきである (KN5-3)。地域社会は警報により伝えられる情報を理解できるようにすべきであるが、一方でその警報システムの限界についても知っておく必要がある。また、行政職員は警報システムの構築にあたり、地域社会の災害対応力を把握しなければならない。

地域社会の対処方法の把握 警報システムは現場で地域社会を助け、行動を促すためにつくられているため、担当機関は現地の住民が災害にどのように対処対応するのかを把握することが大切である。住民は避難のタイミング、場所および方法について自分で判断する。警報メッセージの内容は利用者のニーズや立場に合わせるべきである。こうしたメッ

Box 2：スリランカの地域社会警報

スリランカでは、防災センターおよび国立建築研究所が地域社会での土砂災害警報システムを推進している。雨量を測定する瓶や自動ブザーが付いた瓶（大井型）という簡単な雨量計が危険地区の地域社会に配布されている。瓶の水位が危険レベルに達したら、警報が住民へ出される仕組みになっている。



セージは簡潔かつ迅速であり、避難を積極的に促すものでなければならない。

端から端まで届くシステム。 警報が危険にさらされている地域全体へ確実に届くようなシステムを構築しなければならない。停電や通信途絶の場合でも情報が流れる複数の通信チャンネルを構築すべきである。

常時機能させる。 自然災害はいつでも発生しうるため、関係機関は昼夜休日を問わず常に機能する必要がある。こうした機関では職員の交代制を整えるべきである。

著者

石渡幹夫：世界銀行

参考文献

Goto M., Aihara, N. 2012. "Development of Education for Natural Disaster preparedness and reduction at School linking to the Community." *In East Japan Earthquake and Tsunami: Evacuation, Communication, Education and Volunteerism*. R. Shaw and Y. Takeuchi, Eds. Research Publishing. Singapore.

Ishiwatari, M.2012. "Review of Countermeasures in the East Japan Earthquake and Tsunami." *In East Japan Earthquake and Tsunami: Evacuation, Communication, Education and Volunteerism*, ed. R. Shaw and Y. Takeuchi. Singapore: Research Publishing.

大原 美保, 目黒 公郎, 田中 淳 (2011) 「東日本大震災前後における緊急地震速報に対する住民意識の比較分析」『生産研究』63 (6) .811-816.

気象庁 (2011) 「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の方向性について」
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1109/12a/torimatome.pdf>

気象庁 (2012) 「緊急地震速報の利活用状況等に関する調査結果」
http://www.jma.go.jp/jma/press/1203/22c/23manzokudo_data.pdf

東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議 (2011) 「中間とりまとめ (案)」
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/012/attach/1310995.htm.