

12-5 津波予測の技術

Technology of Tsunami Forecast

中村浩二（気象庁地震火山部）

Kouji Nakamura, Seismological and Volcanological Department

Japan Meteorological Agency

1. 津波の予測

津波を予測するためには、発生源となる地震に関する震源、マグニチュード、断層に関するパラメータ（大きさ、走行、傾斜角、すべり量など）をまず決定し、それにもとづき海底地殻変動を推定し、その海底地殻変動を海面変動に置き換えた上で、津波の数値シミュレーションを行うことが一般的である。

日本周辺では、大きな地震が沿岸近くで発生することがあり、その場合、津波は地震発生後直ちに日本沿岸に津波が来襲する。したがって、住民が津波から避難する時間をできるだけ確保するためには、津波警報を迅速に発表することが求められる。そのため、津波警報発表のために、上記の地震に関するパラメータの推定から沿岸への津波の影響の予測までを地震発生後の短時間に実施する必要がある。

2. データベース方式による量的津波予報

津波の発生源となる地震の震源やマグニチュードの決定に関しては、気象庁は全国の地震観測網（約 290 点）の観測データをリアルタイムで収集し、24 時間体制でその監視と地震時の震源決定等の処理を行っている。そのため、津波を伴うような地震が発生した場合には、短時間でその震源とマグニチュードを決定できるような体制となっている。

一方で、地震の断層に関するパラメータを地震発生直後の短時間の解析で決定することは技術的に困難であり、また、コンピューターで津波の数値シミュレーションを行い沿岸での津波の高さを推定するにも一定の時間がかかる。したがって、これらのことを地震発生直後に行っているのは、迅速な津波警報の発表を行うことができない。

そこで、気象庁では、あらかじめ津波を発生させる可能性のある多数の断層を設定して津波の数値シミュレーションを行い、その結果を津波予報データベースとして蓄積しておく（第 1 図）データベース方式の津波警報のしくみを 1999 年から採用している。実際に地震が発生した時は、このデータベースから、発生した地震の震源やマグニチュードに対応する予測結果を即座に検索することで、沿岸に対する津波警報等の迅速な発表を実現している（第 2 図）。

3. データベースの構成

津波予報のデータベースを作成するために行う津波の数値シミュレーションは、大別して、海底地殻変動計算と津波伝播計算の 2 段階の作業に分けられる。

地震による海底の地殻変動については、地下の断層が動いた場合の地殻変動が理論的に計算できる¹⁾。このとき、断層を規定する断層の水平位置、深さ、大きさ、向き、傾き、すべりの方向・大きさを定める必要がある。断層の向きは、それぞれの海域の過去の地震を参考に決めた。断層の水平位置と深さ、及び、断層の大きさとすべりの大きさ（これらはマグニチュードから換算で推定。²⁾

については、どのような場所で、どのような大きさの地震が発生しても対処できるよう、多数のケースを想定した。すなわち、断層は水平方向に約 1,500 箇所、深さは 0~100km の間で 6 通り、またマグニチュードは 4 通りの想定を行った。断層の傾きとすべり方向については、最も大きく津波を発生させるような設定である傾きが 45° の純粋な逆断層とした。

津波の伝播計算においては、海底の上下変動がそのまま地震発生直後に海面に生じる凹凸になると仮定し、これを津波の初期波源として、ここから津波が伝播していく過程を、移流項と海底摩擦項を含む非線形長波近似の運動方程式（水平方向）と連続の式で計算した。数値計算の方法としては、計算領域を縦横の格子状に細かく区切り、各々の格子における津波の高さと速度について、津波伝播の方程式等に従って時間を追ってスタガードリープフロッグ法で計算した³⁾。

ただし、津波警報の基準となる沿岸で予想される津波の高さは、これらのシミュレーションで計算された沿岸における高さをそのまま使っているわけではない。それは、津波予報のデータベースの作成では計算格子の大きさを一定にしているため、海岸近くの水深が浅く地形も複雑になってくる場所では、津波の再現精度が落ちてくると考えられるためである。これを解決するには、沿岸近くで計算格子を細かくするなど非常に詳細な計算を行う方法があるが、全国の計算を行うには膨大な時間がかかり現実的ではないため、津波予報のデータベースでは沖合いでの津波の高さから、「グリーンの法則」によって海岸での高さを推定する手法を用いた。

4. 大津波警報・津波警報・津波注意報の発表

海域で大きな地震が発生した場合には、上記の津波予報のためのデータベースを用いて、決定された震源、マグニチュードをもとに津波の発生の可能性を評価する。その結果、津波による災害の恐れがある場合には、全国の沿岸を 66 に分けた津波予報区ごとに、大津波警報・津波警報・津波注意報を発表し、同時に予想される津波の高さと到達予想時刻を発表している（第 2 図）。これらの津波予報区は、地形により異なる津波の現れ方の特徴を調査した上で、津波警報等が発表されたときの自治体などの関係防災機関での緊急対応も考慮して設定されている。

5. 津波警報の改善

津波による甚大な被害が発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、津波警報第一報での地震規模の推定結果が過小となり、結果として津波警報で予測した津波が実際より過小となるなどの課題があった。これらの課題に対する改善策について、有識者、防災関係機関等による勉強会・検討会を開催して検討を進め、そこで取りまとめられた提言⁴⁾を基に、津波警報等の発表方法や表現を変更し、平成 25 年 3 月 7 日から新しい津波警報の運用を開始した。新しい津波警報では、マグニチュード 8 を超えるような巨大地震について、その規模を過小評価している可能性がある場合には、最大規模の地震を想定して津波警報を発表し、予想される高さを「巨大」などの定性表現で表し、非常事態であることを伝えることにより避難を促すなどの改善を行った。

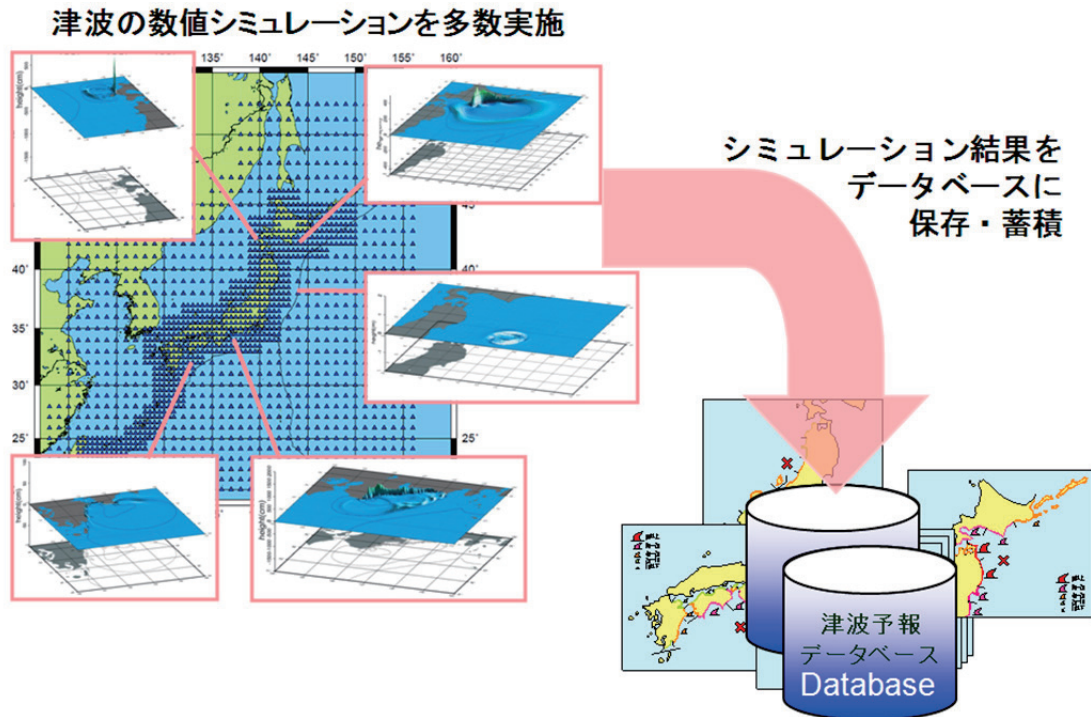
また、近年整備が進んでいる沖合の津波観測網のデータを活用し、津波の初期波源を直接推定し、それに基づいてより精度の高い津波の予測を行う研究開発が進行しており⁵⁾、これらの成果も将来津波警報の更新などに活用される予定である。

参考文献

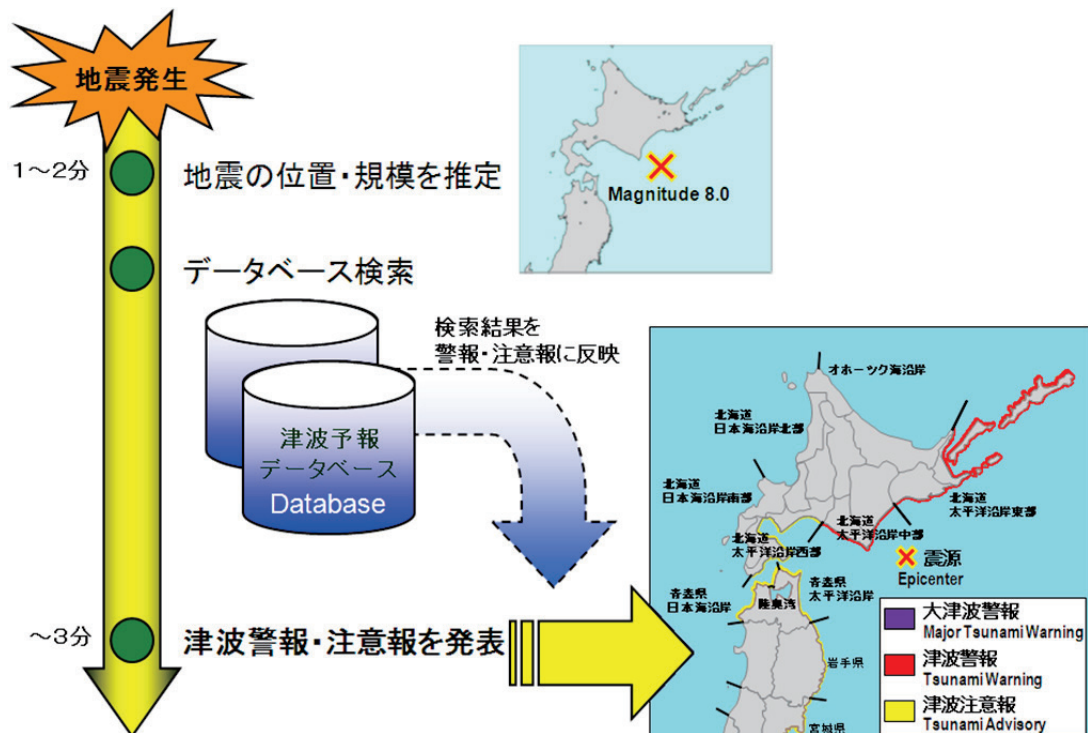
- 1) Okada, Y.(1985), Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc.

Am., 75, 1,135-1,154.

- 2) 宇津徳治(1984), 地震学(第2版), 共立出版, 249.
- 3) Satake, K.(1995), Linear and nonlinear computations of the 1992 Nicaragua earthquake tsunami, Pure Appl. Geophys., 144, 455-470.
- 4) 気象庁(2012),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
- 5) Tsushima, H., Hino, R., Fujimoto, H., Tanioka, Y. and Imamura, F. (2009), Near-field tsunami forecasting from cabled ocean bottom pressure data. Journal of Geophysical Research 114. doi: 10.1029/2008JB005988. issn: 0148-0227.



第1図 津波予報データベース
Fig.1 Tsunami Simulation Database



第2図 津波予報データベースによる津波警報
Fig.2 Tsunami warning system based on the Tsunami Simulation Database.