

# 津波

南海トラフ地震で

30m超の津波が発生する!?

発生と予測のメカニズムから最善策を

Interview with

**丹羽淑博**

東京大学 大学院教育学研究科  
附属海洋教育センター (COLE)  
特任准教授

2011年3月11日の東日本大震災では  
東北地方を中心に、津波による甚大な被害が発生した。  
南海トラフ地震にともなう津波の危険性が指摘されるなか、  
海洋物理学は津波のメカニズムの根本に迫ることで、  
その予測や対策に生かせる知見を与えてくれる。

## 津波のメカニズムと予測

津波はどのようなメカニズムで発生するのでしょうか。

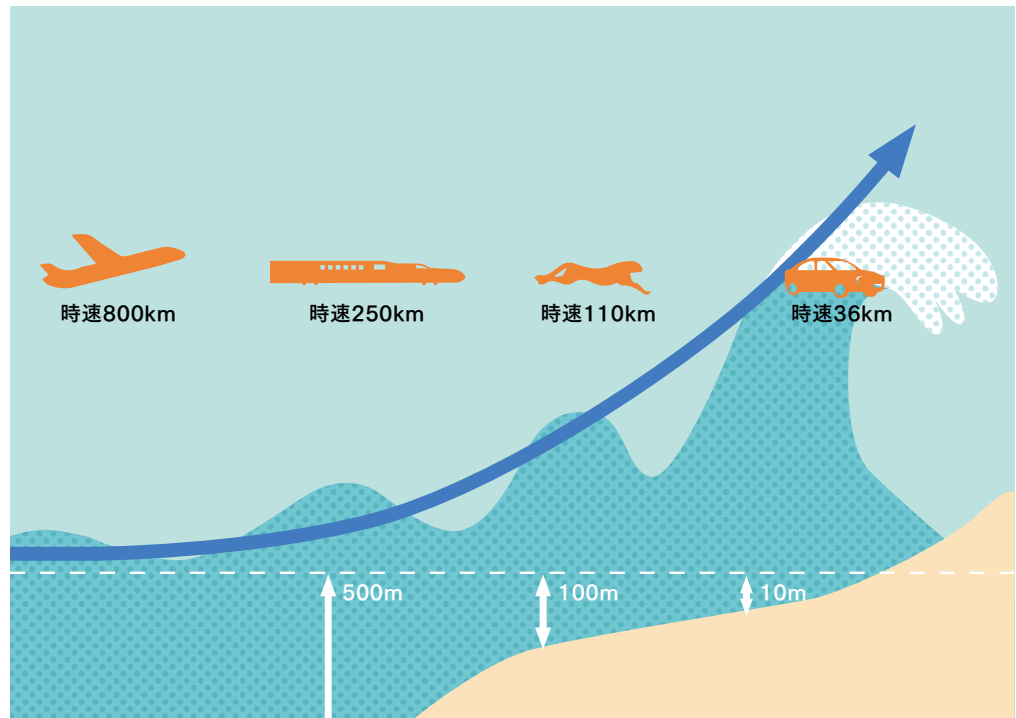
丹羽淑博 | よく知られているように大部分の津波は地震にともなって発生します。より正確にいうと、地震を引き起こす断層運動（断層のズレなど）によって海底が広い範囲にわたって隆起すると、それとほぼ同じ形で海面が隆起し、それが波として伝播するのです。そのため、地震が起きても断層が横ズレの場合は大きな津波は発生しません。縦ズレ断層の場合に注意する必要があります。

さらに、津波には水深が深ければ深いほど、伝播するスピードが速くなるという性質があります。そのため、津波の伝播速度は陸地に近づくにつれて減速し、そこに後方部の波が追いつくことでさらに大きくなっていくのです。なお、「津波が発生すると漁師は船を沖に出す」という話がありますが、それは沖合に行けば津波の波高がなだらかで流れが弱くなり、安全だからです（伝播速度は沖合ほど大きくなるが、津波による流れは遅くなる）。ただし、タイミングを誤ると津波に飲まれてしまう恐れもあるので、かならずしもこの選択が正しいとはいえません。

津波の予測はどのように行われるのでしょうか。

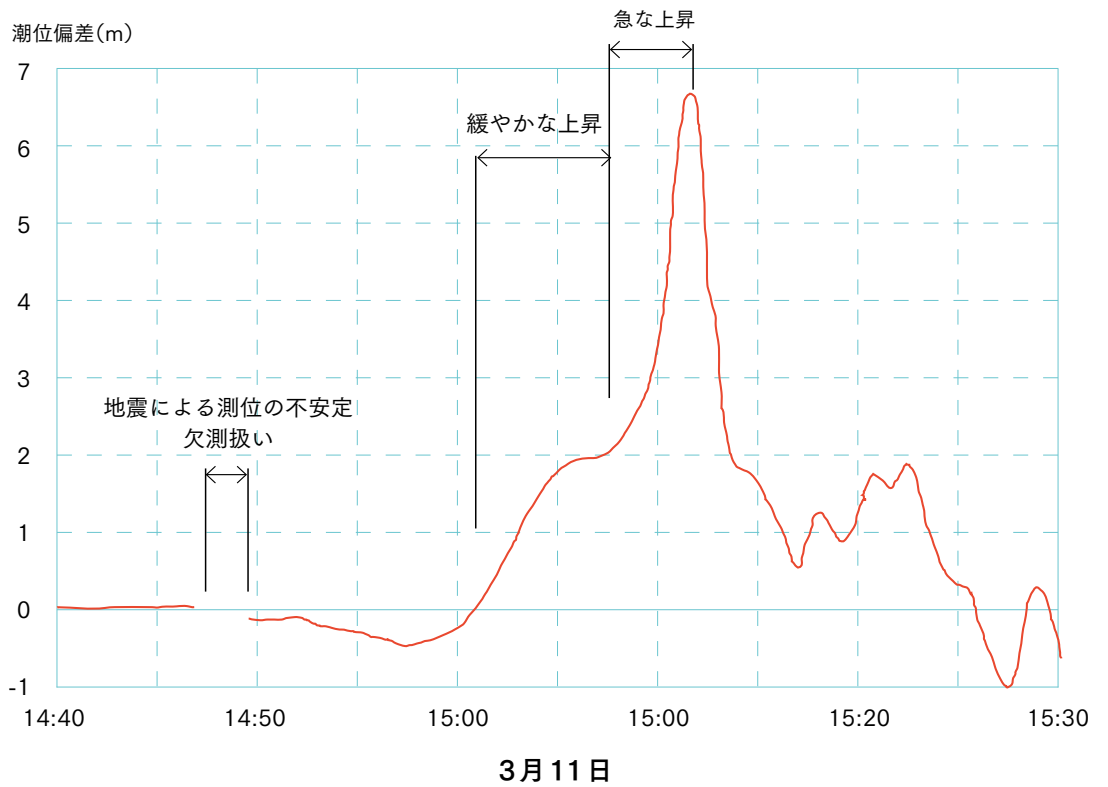
丹羽 | 日本は四方を海に囲まれた島国で、太平洋プレートやフィリピン海プレートなど4つのプレートの上に乗っており、大規模な津波を引き起こすプレート境界断層に囲まれています。津波発生源が近くにあるため、地震が発生してからその都度、全国各地の津波の高さや到着時間を計算していたのでは間に合いません。そこで、気象庁では事前に想定しうる断層ごとに約10万ケースの津波の数値シミュレーションを行い、その計算結果を津波予報データベースとして蓄積しています。地震が発生したら震源位置やマグニチュードを推定し、それにもっとも近いケースの計算結果をデータベースから選んできて津波予報を発表、地震発生から3分以内に津波予報の第一報を出すことになっています。さらに、地震発生から10~15分たってより多くの地震データが集まってくると、断層運動が縦ズレか横ズレかといった情報もわかってくるので、それらをもとにより正確な津波予報を発表します。

[図1] 津波の速度と水深の関係



津波の伝播する速度は水深によって決まり、水深が浅いほど遅いため、岸に近づくにつれて後ろの波が前に追いついて、高い津波になる。気象庁HP (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/generation.html>)から引用

[図2] 岩手県釜石沖の波高計が捉えた東日本大震災の津波の第一波



津波予報の第一報の波高3mを大きく超える津波(波高=6.8m)が観測された。  
港湾空港技術研究所HP (<https://www.pari.go.jp/info/tohoku-eq/20110328mlit.html>)から引用

2011年に発生した東日本大震災の津波の規模はどの程度のものであったのでしょうか。また、その際に津波の予測システムは機能していたのでしょうか。

丹羽 | 東日本大震災の超巨大地震を引き起こした断層のズレは南北に500km、東西に200kmと岩手県北部沖から茨城県沖に渡る非常に広範囲におよぶものでした。そのため、遡上高（津波が陸に駆け上がった際の到達高度）が40m以上の巨大津波を発生させました。この津波によって浸水した面積は岩手県、宮城県、福島県など6県で561km<sup>2</sup>におよぶとされており、各地域で人命を含め深刻な被害が生じました。

東日本大震災で深刻な被害が出た要因のひとつに、津波予測システムの不備がありました。従来の津波予測システムでは、東日本大震災クラスの超巨大地震をカバーできなかったのです。従来のシステムでカバーできるのはマグニチュード8.0程度までで、マグニチュード9.0を記録した東日本大震災の津波で

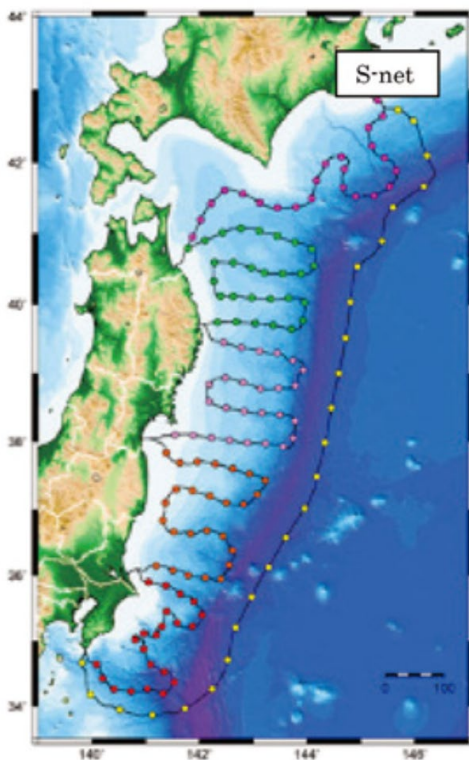
は短時間での正確な予測がそもそも不可能だったのです。そのため、地震発生3分後に出された津波予報の第一報で発表された波高は岩手県が3m、宮城県が6mと大幅に過小評価したものでした。あまりにも巨大な揺れだったので地震計が壊れてしまい、10分～15分後に出されるべき津波予報の更新もできませんでした。

結局、東日本大震災のときは、岩手県釜石市の沖合にあった津波計で、第一報の予報値を倍近く超える津波が来ていることが確認され、それを元に地震発生28分後に予報値をかさ上げして岩手県に6m以上の津波が来るとの警報を出しましたが、その時点ですでに津波は到達直前となっており、その警報はあまり意味をなしませんでした。

そのときの経験は現在の津波の予測に生かされているのでしょうか。

丹羽 | 結局、従来の津波予測システムの問題点は、地震の情報のみに基づいて津波を予測しようとしたところにあります。現在はS-net (Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench) と呼ばれる海底ケーブル観測網（海底圧力の変化で海面の波高を直接観測する津波計を取り付けた海底ケーブル）が三陸沖に張り巡らされており、震源近くで発生直後の津波を直接観測して、その観測データに基づいて予測を行う仕組みを採用しています。同様の海底ケーブル観測網は南海トラフにも導入されており、紀伊半島沖と四国の東方沖にDONET (Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis) という地震・津波観測監視システムが設けられています。また、四国沖から九州の間にも同様のシステムを導入する計画があります。

しかしながら、海底ケーブル観測網は整備が大変で、その耐久年数は25年程度といわれていますし、そもそも敷設するのに膨大な



海底ケーブル式津波観測(S-net)の観測点の配置図。地震調査研究本部HP ([https://www.jishin.go.jp/resource/column/topic15win\\_p4/](https://www.jishin.go.jp/resource/column/topic15win_p4/))より引用

費用がかかるのが大きな問題です。このようなコストがかかる海底ケーブル観測網を世界中はもちろん、日本全域をカバーするように設置することさえ困難です。

そこで、われわれは最近、飛行機を使って津波を予測する方法を提案しています。民間の飛行機には電波高度計というレーダーが搭載されており、離着陸時に飛行機と地表や海面との距離を測定しているため、これを航行時に沖合で使用することで、海面変動を測定していこうというわけです。実際、観測用航空機でテストを行い、航空機レーダーによって津波検知に十分な誤差10cm以下の精度で海面高度が測定しうることを初めて示しました。また、民間航空機だけでなく、将来実用化されうるドローンなどの無人航空機を使った観測ネットワークなど、低コストで世界的に展開しうる津波観測システムを提案していく必要があります。

#### 津波が発生しやすいポイントなどはあるのでしょうか。

丹羽 | 断層のズレが原因なので、やはりプレート境界付近で巨大な津波は発生しやすいです。とくに太平洋にはプレート境界が多く、ハワイにある太平洋津波警報センターではグローバルな規模で海底水圧計と観測データを衛星に転送するブイを組み合わせたDARTと呼ばれるシステムを配置して津波を観測しています。しかし、その数は世界で60カ所とまだまだ不足しています。

#### 予測しにくい津波もあるのでしょうか。

丹羽 | あります。そのひとつが津波地震と呼ばれる地震による津波です。これは通常よりも断層がゆっくりとズレる地震で、そのため地震の規模は小さいのに、津波が発生することがあるのです。1896年の明治三陸地震はまさにこの津波地震によるもので、津波によって甚大な被害が生じました。S-netのような

津波を直接観測するシステムであれば予報可能ですが、そうでなければ、地震警報がなく、一足飛びに津波警報が来ることになります。

また火山噴火により山体が崩れ土砂が海に流れ込んで起きる津波もあります。江戸時代には北海道の駒ヶ岳や渡島大島、長崎県の島原で巨大な火山津波が発生して、大きな被害を出しています。最近でも2018年にインドネシアのスダ海峡で火山津波が発生して、400名以上の人的被害が出ています。

また、気象津波と呼ばれるタイプの津波もあります。これは九州の西岸にあたる長崎県で冬から春先に発生することが多く、長崎の方言では「あびき」と呼ばれます。東シナ海を気圧擾乱じょうらんが通過するときに、何の前触れもなく1mほどの津波が発生するのが特徴で、大きな人的被害を出すほどではありませんが数年に一度の頻度で大規模なものが発生しており、2019年3月には長崎で浸水被害が生じています。

一方で東京、大阪、名古屋といった海に面した平野部にある大都市では、台風による高潮にも気を付けないといけません。高潮は気圧が海面を引き上げて生じる現象であり、海底圧力測定に基づく予報システムでは観測できず、先述したような航空機などを使って上空から海面の高さを直接測定するしかありません。地球温暖化がさらに進んで海面水位上昇がつづくと、これまで100年に一度の頻度で発生していた顕著な高潮被害が、今世紀半ばから末には毎年のように発生するようになる可能性があると言われています。

#### 南海トラフ地震に関する津波の危険性はいかがでしょうか。

丹羽 | 高知県に30m以上の津波が押し寄せるとされており、そのほかの地域にも10m以上の津波が来ることが想定されています。地震調査委員会の評価では、住宅が流失・全壊しはじめるとされる高さ3m以上の津波が





高知県黒潮町の津波避難タワー

30年以内に四国、近畿、東海地方を襲う確率は26%以上と推定されています。到達時間は地域によってまちまちですが、なかでも紀伊半島への到達時間ははやく、半島南端の串本では地震発生から数分で津波が到達するという予測もあります。

南海トラフ地震以外にも津波の危険性はあるのでしょうか。

丹羽 | 関東地方にも注意を払う必要があります。元禄地震（1703年）や関東大震災（1923年）では大規模な津波が発生した記録があります

が、これはいずれも相模湾付近を震源としたものです。最近はあまり話題になりませんが、実は相模湾付近ではマグニチュード7.0クラス以上の地震が約70年に一度の頻度で発生しています。津波といえばまずは南海トラフ地震が話題になることが多いのですが、相模湾付近の津波にも十分に注意すべきでしょう。

津波が来るとされている地域の人たちはどのような心構えや対策を講じるべきでしょうか。

丹羽 | 津波は紛れもなく海の脅威のひとつですが、地震発生から多少は時間が空くので、事前に避難計画を立てて地震後すぐに高台に避難すれば大丈夫です。逆に、地震後の空白時間に大丈夫だったと安心しきっていると、津波の被害に巻き込まれてしまうので、まずは自分が住んでいるところが、津波が来る地域なのかどうか、そして地震発生からどの程度で津波が来るのか、避難所はどこにあるのかといったことをハザードマップなどでしっかりと確認してほしいと思います。ハザードマップは最悪の状況を想定して作成されているので、十分に役に立つはずですが、もちろん、ハザードマップにしたがって避難する際にも、より安全な別の場所に避難できるかを考えるなど、そのときにできる最善をつくして避難行動をすることが大切です。

INTERVIEWEE:

丹羽淑博 にわ・よしひろ

東京大学 大学院教育学研究科  
附属海洋教育センター（COLE）特任准教授

専門は海洋物理学。内部波や津波などの海洋波動を数値シミュレーションや観測を行い研究している。また、さまざまな海洋現象をわかりやすく伝えるための教育教材やカリキュラム開発にも取り組んでいる。

