

つ・な・み



工学博士 西尾 宣明

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

英語では tsunami

与太郎 大家さん、津波は英語でも「つなみ」っていうんですってね。

大 家 そうですよ。でも、何だって突然そんな質問をしたのかな？

与太郎 いやあ、別に深いわけはないんです。たまたまそんなことを耳にしたもんですからね。でも、なんで英語でも津波って言うんですか？

大 家 それは昔から日本で津波の被害が多かったからでしょうね。とくに、三陸沖の地震によるものが際立っています。岩手県の沖合には日本海溝という大地震の巣がある上、海岸の凹凸が激しい。「リアス式海岸」という名前で知られていますね。

与太郎 そう言えば、何かで津波の話を読んだことがありますね。何万人も亡くなったんですよ。

大 家 それはたぶん、明治29年（1896年）の津波の話ですね。全半壊流出家屋が1万以上、死者は2万7千人、津波の高さは最大で30メートルという大変な被害でした。

この他にも、869年と1611年に大きな津波があったそうです。さらに1677年、1836年、1856年と何回も津波の被害を受けているんですね。昭和の初めにも、1933年 — これは私が生まれる1年前ですね — 家屋損失9,000戸、死者2,986人という大きな被害を受けているんですね。

そればかりじゃなくて、1960年のチリ地震の時も、

はるか1万5千キロの太平洋を渡ってきた津波で大変な被害を受けたんですよ。

与太郎 へえー、そうなのか。三陸って大変な場所なんだ。それで津波は日本の専売特許みたいになってるんですね。津波の研究も日本が一番進んでるんでしょう？津波といえば日本。それで英語でも「つなみ」なんだ。

大 家 そういうことですね。

与太郎 そう言えば、スマトラ沖地震のときの大津波。あれはすごかったですね。あんなのは外国じゃ滅多にないんでしょう？津波の観測や警報の設備も全然なかったようだし。

大 家 実際、マグニチュード9などという超巨大地震ということも滅多にないことだし、そのために遠く離れたスリ・ランカにも大きな被害があったし、マダガスカルまでにも影響が及んだんですね。

あれが関東地震級のマグニチュード8程度だったらあんなに大きな被害にはならなかったと思います。

与太郎 マグニチュード8と9じゃあそんなに違うんですか？

大 家 ほら、前にも話したことがあるでしょう。マグニチュードが1違うと地震のエネルギーは約30倍も違うということを。ということは、大雑把に言って地殻変動の大きさも約30倍違うということです。発生する津波の規模はこれも地殻変動の大きさに比例すると考えていいですから、もしマグニチュード8だったら、津波の規模はあの30分の1でしかないわけです。

被害は最初の震源地に近いごく狭い範囲で収まったと思いますよ。

与太郎 ふーん。そうか。

大 家 ただ、同じマグニチュードの地震でも地殻の動き方によって津波が起きたり起きなかったりします。地殻が横にずれるいわゆる横ずれ断層による地震だったら津波は起きませんね。一つのプレートの下にもう一つのプレートが沈み込むような場合には海底の陥没や隆起が起きやすいので、津波の元になる場合が多いわけです。日本海溝や東南海沖などでの地震はそういう形になる可能性が大きいですね。

与太郎 それから、海岸で潮が引いたようになることがあるんですね。そこで面白がって浜に出て行くと突然津波が押し寄せてきて波にさらわれるなんてこともあるんですね。津波の前には必ず引き潮みたいになるんですか？

大 家 必ず引き潮になるわけではありませんよ。それは地殻の変動がどんな風に起きたかによって違いますね。

津波の原因

大 家 ここで少し地震の時の地殻変動がどんな風に起きるものか図で説明してみますね。

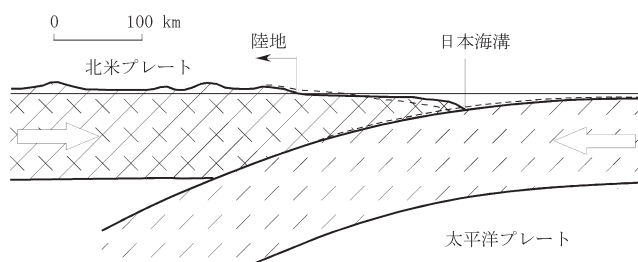
日本海溝のように、太平洋プレートが北米プレートやユーラシアプレートの下に斜めに潜り込んでいる場合を考えましょう。それは大体この図のような形で表されています。原理がわかりやすいようにうんと単純化されていますがね。

二つのプレートがお互いに押し合っているわけです。プレートに圧縮力が加わるとプレートは縮みますが、力と直角の方向にプレートは膨らみます。台所のスポンジなどを手で押し付けると、当然スポンジは縮みますが、横の方向には膨らみますね。あれと同じことです。

与太郎 へえー。岩のように固いものでもそうなるんですか？

大 家 固くても柔らかくても理屈は同じです。ただ、固いものは同じ力では縮む量がうんと小さいので、横方向の膨らみ — 力と直角の方向という意味ですが — それも目では見えないぐらい小さいというだけのことです。

図ではそれをうんと誇張して、点線のように描いて



三陸海岸付近のプレートの押し合い（模式図）

—— 距離はおおよその目安を示す ——

います。プレートの厚さをかりに100キロメートルとすれば、図のとおりなら10キロも20キロも膨らんでいることになってますが、実際は何十センチとか何メートルという程度です。

与太郎 それじゃとても絵で表すことなんかできないですね。海だって図みたいに深くないんでしょう？

大 家 そのとおりです。この図だって海の深さは5倍ぐらいに強調しています。でも、後で説明しますが、そんなに小さな変形でも大きな影響を及ぼすことができるのです。

与太郎 大家さん。太平洋プレートの方はプレートが膨らんでるけど、大陸のプレートはへっこんでるところと膨らんでるところと両方描いてありますね。

大 家 それは大陸のプレートの先端がうんと薄くなっているの、太平洋プレートからの力で水平方向にうんと締められているせいです。それだけけずみも大きいわけで、そういうところで起きる地震も大きくなる傾向がありますね。

与太郎 それで — 地震が起きるとどうなるんですか？この点線のところが元の実線まで戻ってってことですか？

大 家 与太郎さん、実に察しがいいですね。その通りです。

与太郎 するってえと — なんだか落語の中の熊さん八つつあん見たいなしゃべり方になっちゃいましたが — 太平洋プレートのほうは海底がへっこんで、北米プレートの方は先っちょの方が出っぱって、陸に近い方が凹むんですね？そうして、全体として出っ張りの方が多いと津波になるってことですか？

大 家 大筋としてはそういうことです。ただ、実際にはどんな順番でプレートが動くかによっても変わってしまうでしょうね。

たとえば、最初に太平洋プレートが北米プレートの

下に滑り込んで、次に北米プレートのひずみが解放されるような場合には、海面も最初沈んで、その後で盛り上がることになりますね。そのような場合には、海岸では最初に引き潮のようになって、続いていわゆる津波がやってくるようになります。

同じ日本海溝の地震でも、海底の出っぱりとへっこみが同時に起きて、しかも全体として出ppりの量が少なければ、津波も大したことにはならないでしょうね。

津波は浅い水の波

与太郎 それはそうと、海底の何十センチや何メートルの出ppりへっこみがそのまま海面の出pp張りやへっこみになって表れるというのはちょっと信じられないですね。海ってうんと深いんでしょう？

大 家 確かに深いですね。地球上の海の深さは平均で4,000メートルもあります。そして日本海溝は8,000から9,000メートルもの深さです。エベレストの山がすっぽり沈んでしまうような深さです。ところが、地核のひずみが解放される範囲は大きな地震では100キロメートルを超えるほどです。その100キロメートルを直径25センチぐらいの盥（たらい）に例えれば、海の深さはわずか1センチぐらいなものです。さっきの図からも想像がつくでしょう？その盥の底が上がったり下がったりすれば、水面も同じように上がったり下がったりするのは理解できますね。それが盥のように縁がなくて、どこまでも真っ平らな海底だとしても――。

与太郎 そうか。海っていうもののすごく深いように思っちゃうけど、その広さにくらべたら結構浅いものなんだ。

大 家 それで津波のような波は「浅い水の波」というふうに分類されています。つまり、水面から水底までの全体にわたる水の運動が遠くへ伝わって行くというものです。この波の一つの特徴は波が伝わる速さが水の深さだけで決まって、波の波長には無関係だということです。

それに対して、「深い水の波」というのがあります。温泉の天井から水滴がぽとんと落ちると波の輪が広がって行きますね。あの波は水の深さに比べて波長がうんと短いため、水のごく表面だけの運動が伝わって行くものです。海岸に寄せては砕ける波は大抵が「深い水の波」ですね。この波は波長によって伝わる速さ

が違います。波長が長いほど速く伝わります。これも、波打ち際まで来ると「浅い水の波」に変わってしまいます。

与太郎 へえー。水が深いから「深い水の波」とは限らないのか。

ところで、津波って盛り上がった水の一塊（ひとかたまり）だけが伝わって行くんでしょう？普通の波とは違うような気がするんですけど――。

大 家 水の運動が伝わるという点では繰り返す波も一塊の波もその原理は同じことです。それから、地震というものは、たとえば、100キロ×100キロの面積の岩盤が一瞬の間に同時にずれて起きるわけではありません。あるところからずれ始めて――つまり破壊が始まって、そこを起点に破壊の範囲が広がって行ったり、また、少し離れた場所から新しい破壊が始まったりと、いろんな場合が考えられます。それによって津波は1波だけで終わったり、2波3波続いたりすることもあるわけです。

与太郎 それで、津波ってどのぐらい速く伝わるものなんですか？

大 家 海の深さが4,000メートルとすれば津波の速度は毎秒約200メートルもの速さになります。時速にして約700キロ。ほとんどジェット機並みですね。

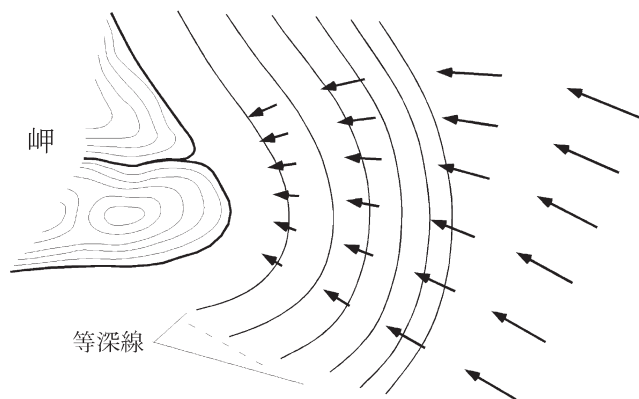
与太郎 へえー。すごい速さだなあ。そんな速さで押し寄せてきたんじゃひとたまりもないですね。

大津波のからくり

与太郎 でも、最初に海が盛り上がるのは何十センチか何メートルかって言いましたよね。しかも、それが何千キロも遠くまで続くわけじゃないでしょう？遠くに行くほど盛り上がりは少なくなりますよね。それがどうして10メートルとか20メートルと言った大津波になるんですか？

大 家 与太郎さんの言うとおりで、盛り上がった海面は遠くに行くに従って横の方にも広がって行きますから、盛り上がりの大きさは少なくなりますね。しかし、地球は丸いので、うんと遠くに行くと海の幅もまた狭くなります。だから思ったほど弱まらないで遠くまで届くんですね。チリ地震の影響が三陸海岸にまで及んだのはそのせいでしょうね。

与太郎 それにしても、海面の盛り上がりは何十センチっていうんでしょう？それがどうして何十メートル



岬での津波の回り込みと集中（模式図）

の津波になるんですか？

大 家 かりに50キロメートルにわたって海面が1メートル盛り上がったとしますね。そうすると幅1メートルあたりの盛り上がりの量は深さ1メートル×長さ50,000メートル×幅1メートルで、5万立方メートルということになります。

津波というのは — 津波だけではなく、波が伝わるということはその盛り上がりの形が伝わるということですが、実質的には幅1メートルあたり5万立方メートルの水が秒速200メートルで運ばれるということになります。

与太郎 へえー。5万立方メートルって凄いんじゃないですか？想像もできないけど。

大 家 そうですね。縦横100メートルの升に深さ5メートルの水を張ったところを想像してご覧下さい。幅1メートル当たりそれだけの水が運ばれてくるということです。

与太郎 へえー。そんなに大量の水が押し寄せたんじゃひとたまりもないですね。

でも、それがどうして高い津波になるんですか？

大 家 その第一の理由は海岸に近づくとき海が浅くなることです。津波の速さは深さの平方根に比例します。深さ4,000メートルで秒速約200メートルだったのが、深さが100メートルになると約30メートルまで遅くなります。約6分の1です。ところが、遅くなくても単位時間に運ばれる水の量は変わるわけに行きません。そこで、津波の高さを6倍にする必要があります。深いところで1メートルとすれば、深さ100メートルでは6メートルでなければなりません。

与太郎 道路が2車線から1車線に変わると渋滞が始まるようなもんですね。

大 家 そうそう、うまいことを言いますね。たしかに、波が高くなるのは波が渋滞するからです。

与太郎 もっと浅くなって深さ10メートルになったらどうなりますか？

大 家 速さはさらに3分の1になりますね。

与太郎 そうすると波の高さは18メートルか。凄いもんだなあ。

大 家 実際の津波では陸地に近づく前の高さが20センチとか30センチという程度のことが多いですから、波打ち際に上陸する時の津波の高さはせいぜい数メートルというのが普通だと思います。それでも、幅1メートルあたり何千何万立方メートルの水が上陸してきたら、被害は並大抵でないと思います。

与太郎 三陸海岸の場合は地形の影響が大きいんでしょう？そっちの方はどうなんですか？

大 家 そうそう。それがとても重要です。図のように海に突き出た岬のような地形を考えてみましょう。海の深さは等深線で表したように陸地に向かって徐々に浅くなっているとします。先に近づいた波は先に遅くなりますから、津波の先端は図のように岬を回り込むように進みます。その結果、岬の先端の付近では津波が集中することがあります。これが津波を数倍高くする原因の一つになります。

与太郎 そう言えば、北海道南西沖地震のとき、奥尻島でも震源地から反対の側まで回り込んだんですね。スマトラ沖地震の時もスリランカかどこかで震源地から陰になっているようなところで被害が起きていたから、何でそうなるのか不思議に思ってたんですけど。それなんか、自動車事故の時の見物渋滞に似てますね。

大 家 与太郎さん、なかなか面白い譬えを言いますね。ところで、三陸海岸のような地形ではもう一つ波を高くする原因があります。

さっきの、岬を回り込んだ所に谷合の港があったとしますね。押し寄せた津波は谷を遡るしか行き場がありません。津波は船も家も巻き込んで谷合に押し寄せます。津波の高さが20メートル、30メートルというのはそう言う地形だから起きたことです。

与太郎 デパートの特売場にお客が折り重なるようにして殺到するようなもんですね。

大 家 あっはっはっは。それは面白い。確かにその通りですね。

でも、津波は笑い事ではありませんがね。