

東北地方太平洋沖地震による津波被害について

石川 輝海

(1) 序文

東北地方太平洋沖地震は2011年3月11日に発生した。この地震の震源地は日本海溝内に位置するため、津波を発生させた。そのため東北地方の太平洋沿岸地域は津波による大被害を受けた(石川, 2012; 三浦, 2011)。地震の規模はM9.0で、日本海溝で発生した最大級の地震である。この地震の原因は北アメリカプレートの下へ太平洋プレートが沈み込んだ結果である。太平洋プレートは東から西方向へ年8cmの速さで移動している。そのため応力を受けた北アメリカプレートに大きな歪エネルギーを蓄積させた。この歪エネルギーが解放された時に地震が発生し、海面を隆起させ、その海面上昇が長波長の波を発生させ、その波の一部が海岸へ押し寄せたのである。

日本列島は太平洋プレート、北アメリカプレート、フィリピン海プレートおよびユーラシアプレートからなる4枚のプレートの会合地点である。世界的に地震が多発する地域である。環太平洋地域のM9以上の地震は1952年のカムチャッカ地震(M9.0)、1957年のアリューシャン地震(M9.1)、1960年のチリ地震(M9.5)、1964年のアラスカ地震(M9.2)、2004年のスマトラ島沖地震(M9.0)、2010年のチリ中部地震(M8.8)、2011年の東北地方太平洋沖地震(M9.0)、である。

プレート境界の日本海溝内に未固結で変形し

やすい付加体が堆積している。プレートがゆっくりずれた場合に、地震による揺れが小さくても、付加体が大きく変形するため大きな津波を発生させる。このような地震を津波地震と言う。

日本列島は今回の東北地方太平洋沖地震によって東南東方向に最大5.3m移動した。この最大移動量を示したのは宮城県牡鹿半島である。水平で東方向に5.3m、上下方向で下へ1.2mの移動であった。東北日本は北アメリカプレート上にあり、東から西へ移動する太平洋プレートの応力を受けているため、通常時は西方向に年間数cmの速さで移動している。この移動によってプレート境界に歪エネルギーが蓄積し、プレート強度の限界に達するとプレート境界がずれて、東方向へ反動する。この時に巨大地震が発生した。

(2) 津波災害

津波の大きさは地震規模による、特に地震発生時に海底地形の変化量の大きさと関係している。海溝内地震によってプレート境界がずれたことにより、海溝付近の海底が隆起部と沈降部を形成したため、津波発生の原因を作る。海底が隆起すると海水が持ち上げられ、海水面も隆起する。この時に海底の沈降部は隆起部より陸側に形成され、海水面も沈降する。その結果、隆起部と沈降部の比高は大きくなり、隆起部の海水は、地震直後に重力によって低い方へ向

かって一度に流れ、大波となって四方へ伝わる。津波の波長は数10km～数100kmにもなる。一般的な波は波長約600m以下で、波長の長さが津波と一般の波とでは大きく異なる。津波は波長が長いので波の状態ではなく、一方向に流れる洪水のように陸に向かって流れ込み、沿岸域を襲う。そして波が引く時は陸上の固定されていない物を海に持ち去る。

地震が水深4000m付近で発生すると、津波の速さは時速720kmもあり、津波が陸へ向かうにつれて水深は浅くなり、次第に津波の速さが遅くなる。そのため、後ろの波が前を行く波に重なり、波高の高い津波が作られる。さらに津波の波長は長いので、海岸に到着した波の一波長の時間が長く、長いと1時間も海水が陸地へ流れ込む。この海水の流れは海底から海面まで水平に一方向へ流れる。そのため海岸の堤防に津波がぶつくと海水は水量を増して、堤防を乗り越えて陸側に流れ込む。海岸に達した津波の水流は時速数10kmもあり、大きなエネルギーを持つため、津波に抵抗する物を全て破壊する。

(3) 津波の発生

東北地方太平洋沖地震は2011年3月11日14時46分に発生した。この地震による津波を気象庁の発表資料に基づいて考察する。

第一波の到着時間は震源地に最も近い三陸海岸の釜石では不明である。おそらく、地震発生後に短時間で到着したため、記録されていないのであろう。大船渡と石巻では0分である。地震波の速度と津波の速度が同じであることを示す。宮古では2分後、相馬では9分後に第一波が到着している。震源地からの距離が大きくなるほど、津波到着時間は長くなる。また、海が

深ければ速く、浅いほど遅くなる。西方では銚子27分後、横浜1時間32分後、御前崎1時間17分後である。九州の宮崎では2時間20分後である。北海道方面では、十勝40分後、苫小牧54分後、釧路48分後、根室市48分後である。震源地から観測地の距離が長いほど津波到着時間は長くなる。

最大波の到着は三陸海岸で最も早く、大船渡で29分後に波高11.8m、石巻34分後に波高7.7m、釜石35分後に波高9.3m、宮古35分後に波高7.3m、相馬1時間4分後に波高8.9mである。西方の銚子では2時間36分後に波高2.4mであり、北海道方面では十勝1時間11分後に波高2.8mである。

地震発生後の約40分後に北海道から房総半島にかけて津波が襲った。三陸海岸では最も早く最大波が到達しており、大船渡では29分後に11.8mの大津波が記録されている。

1時間4分後には相馬、1時間11分後には十勝と日本列島沿岸の広範囲に津波が襲った。これらは震源地からの距離と海岸地形によって津波到達速度の違いが出てくる。波高も震源地から離れるにしたがって低くなる。

(4) 津波

東北地方太平洋沖地震で発生した津波は巨大であった。特に被害が大きかった地域は大船渡市、陸前高田市、気仙沼市、女川町であった。これらは三陸海岸にあり、リアス式海岸の湾内の都市である。これらは海岸近くまで山地が迫り、湾内の平野面積は狭く、海側が広い面積を示した湾内に位置する。その地形は太平洋側に広い開口部があり、湾内に狭くなるV字型を示す。そのため湾に到着した津波のエネルギーは湾の奥に向かって集中し、波高の高い波になる。

特に、釜石市、大船渡市、陸前高田市、気仙沼市、石巻市、女川町はV字型の湾の奥に発達した都市である。震源地上の津波発生域で高さ5mほどであった津波は大船渡で高さ11.8mになった。そのため湾内の市街地は津波による大被害を受けた。

石巻市は仙台湾の北部の奥に位置し、仙台湾は広く太平洋に開くため津波の襲来回数が多く、長い時間をかけて何回も津波を受け、石巻港では波高7.7mの津波であった。石巻平野は海岸に沿って広がるため、海岸から数kmの内陸まで津波の被害を受けた。

陸前高田市は南向きの広田湾の奥にある都市である。広田湾は広く太平洋に開き、湾の奥に向かって狭くなる。この湾の奥の気仙川河口にできた都市である。海岸は高田松原と呼ばれる海浜公園となり、その平野部に発達した町であり、海岸から約2kmに山地が迫る。この平野部は海岸に面しているため、大きな津波を受けた。

釜石は三陸海岸にあるリアス式海岸を港として発達した都市である。湾内に流れ込む甲子川河口に港町が発達し、町の裏には山地が迫る。新日鉄も山間の地に高炉を建設して鉄鋼生産を行っていたが、現在は閉鎖している。この海岸沿いの密集した市街地を津波が襲った。釜石は鉄鋼の町であるため建築材に鉄筋が使用され、二・三階建ての建物が多い。その一階部分は大破されている。これは津波の高さを示す指標になる。釜石の最大の津波は波高9.3mであった。

津波の被害は海岸地形および海底地形の影響を大きく受ける。また、震源地の海底の深さや陸地までの距離などによって津波の形態や到着時間などの違いが生じる。

(5) 宮城県気仙沼市

宮城県気仙沼市は三陸河岸の気仙沼湾内にあり、東北地方有数の漁港であり、遠洋漁業の基地となっている。湾内は大型漁船の停泊地にもなっている。

湾内の南気仙沼、柏崎、川口町、朝日町が大きな津波被害を受けた。町の背後に山地が迫り、海が陸地内に深く入り込んだ狭い湾内であるため、津波の波高は一段と高くなったと考えられる。

津波の高さを推測できる物として、大型船の陸上への乗り上げである。図1は湾内の陸上へ津波により打ち上げられた大型船である。この大型船の喫水が10m以上であるため、津波の高さも10m以上であろう。また図2は、三階建ての建物で二階部分まで破壊され、三階の一部も破壊されている。図3は一階部分が欠如し、二階部分のみが他の所から水上を浮かんで移動してきた物体である。この下には乗用車が埋もれていて、津波の大きさを物語っている。

津波は全てを破壊する。コンクリート造りの倉庫の壁に大穴を開けた(図4)。これは津波の力を示す。津波が引き去った後には瓦礫の山を残すのみである。津波の破壊力は大きく、工場、住宅、倉庫を跡形もなく破壊してしまう。津波に襲われた時、水平方向に海から陸へ流れる流水によって押し流され、建造物は転倒、回転された。海上の物も、陸上の物も、混合した状態で残された。また一部は引き戻す波によって海へ流され、海上を漂流し、また海底に堆積した。

(6) 宮城県石巻市

宮城県石巻市は石巻湾に面し、津波を南方向



図1 陸上に打ち上げられた大型船。気仙沼漁港。



図2 津波被害を受けた三階建て住宅。気仙沼漁港。



図3 浮遊して移動した二階部分(?)。気仙沼漁港。



図4 津波の直撃により大穴の開いた倉庫の壁。気仙沼漁港。

から受けやすい位置にある。石巻湾は東日本大震災で波高7.7mの津波を受け、南浜町、魚町、大門町、松並、浜松町、長浜町が大きな被害を受けた。本地域は南側に石巻湾に面し、海岸から2km北に山地があり、町の中を旧北上川が貫いている。石巻湾は広く、太平洋に開くため、津波を大きく受けた。

波高7mの津波で石巻漁港に隣接する道路に沿う漁業関係の事務所が被害を受けた(図5)。道路は幅広く、海岸に沿って伸びるため、建物の完全な倒壊は免れているが、建物内部は壊滅状態である。8月には復興に必要な道路は早期に埋め立て、嵩上げされていた。この地域は地震時の液状化のため地盤沈下が起き、陸上に海水が流入したため早期に工事された。一般住宅では倒壊は免れたが、一階部分の被害が顕著である(図6)。部分的な被害であるが、基礎部

分が破壊されているため、その状態で修復は難しく初めからの再建となるため、8月段階では建物の撤去が行われていた。

石巻市南浜町は海岸平野で、津波被害を受けやすく、住宅の全てが被害を受け、撤去中であった(図7)。基礎部分のみを残して、再建のために重機で解体された。石材で作られている墓石も倒壊した。これらも多くは津波による(図8)。地震による墓石の倒壊であると方向性をもって倒れるが、乱れた倒れ方をしている。

津波を受け、海水が浸入した地域でも、特定の植物が力強く生育する。特にひまわりは強く、通常と同じように花が咲き、青々としている(図9)。



図5 海岸沿いの津波被害を受けた漁業事務所。宮城県石巻漁港。



図6 海岸より約1km内陸に入った津波被害を受けた住宅地。石巻市浜松町。



図7 海岸より約500mの津波被害を受けた住宅地。石巻市南浜町。



図8 津波被害を受けた墓地。石巻市南浜町。



図9 ひまわりは塩害に強い。石巻市南浜町。

(7) 岩手県陸前高田市

岩手県陸前高田市陸前高田は広田湾内の都市である。広田湾は湾口の両側に広田崎と御崎岬からなるV字型の湾である。湾の最奥に陸前高田の都市がある。また陸前高田は気仙川河口の沖積平野に位置する。そのため港としてよりも風光明媚な地として栄えた。広田湾は太平洋に面し、東北地方太平洋沖地震の津波を最も受けやすい方向に湾口が向いている。

陸前高田市は市庁舎が津波によって破壊され、仮市庁舎により運営が行われている。三陸海岸で最も大きな被害を受けた都市である。海岸に接した平野であるため広い範囲に被害を受けた(図10)。復興作業では最初に道路上の物が撤去され、次に破壊された住宅の撤去となる。市庁舎は四階建て建物であるが、三階部分まで津波被害を受けている(図11)。高さ15mの津波と予想される。市庁舎周辺は津波で運ばれた物で埋められているが、8月には撤去されていた。市庁舎前には破壊された大量の車が山積みになっている(図12)。復興は順調に進み、市街地は瓦礫の撤去が進み、更地になっている(図13)。また集められた瓦礫は山積みになされ(図14)、それらは分類されて山積みになっている。図14は金属類のごみの山である。

陸前高田は最大の被害を受けた。世帯の7～8割が水没し、15000人以上が避難し、2000人以上の死者を出した。それは海岸に平野が広がり、住宅地が密集していたためである。

(8) 宮城県大船渡市

宮城県大船渡市は町の中心が大船渡湾の最奥にある。この大船渡湾は三陸リアス式海岸の一つで、太平洋に面した奥の深い湾である。そ

のため津波の高さは11.8mを記録した。大船渡港を中心に海岸地域の建物が津波被害を受けた。他の地域と比べて比較的高い所まで津波に襲われた(図15)。海岸から離れた所の建物も二階まで被害を受けた。それは津波の高さを示す(図16)。道路面から約5mの高さであろう。大船渡市では、この津波で220人が死亡し、約3500棟が全壊した。

(9) 岩手県釜石市

岩手県釜石市は、典型的なリアス式海岸からなる釜石湾の奥にある。釜石湾は広く太平洋に面し、V字型に湾の奥へ狭くなる。3月11日の地震で釜石湾は波高9.3mの津波を受けた。湾の形態が波を高くすると考えられる。また、津波のエネルギーは収斂され、釜石湾内の都市、釜石を直撃した。

釜石の町は釜石湾を天然の良港として発達し、町の中心部は海岸沿いと甲子川の流域に広がる。この町の背後は山地で、市街地は海と山にはさまれた狭い低地に広がるのみである。狭い海岸の町と言える。

釜石の市街は三階から四階の鉄骨造りの建物が多い。これは釜石市が鉄鋼の町であるため鉄材によって作られているためである。この建物は横から押し寄せる津波の力に弱く、大きな被害を受けた(図17)。この建物は鉄骨プレハブ造りのため、横波を受けると歪んでしまう。多くは一階部分が破壊されている。図18は一階に強い水流を受けたため一階の壁が外へ押し出され、膨れている。これは水流の強さを示している。釜石港には津波によって押し合あげられた巨大船が、岸壁に乗り上げている(図19)。市街の住宅は津波によって一階部分が破壊され、水流によって建物の全ては歪を受け、



図10 海岸沿いの津波被害を受けた市街地。陸前高田市三日市。



図11 陸前高田市庁舎。三階部分まで津波被害を受けた。



図12 津波により破壊された車の山。陸前高田市市庁舎前。



図13 復興により瓦礫が撤去された陸前高田市街地。2011年8月16日。



図14 瓦礫の中から取り出された金属類のごみの山。陸前高田市陸前高田。



図15 大船渡湾内に沿う高台で津波被害を受けた住宅。



図16 内陸の住宅で二階部分に津波被害を受けた。宮城県大船渡。



図17 津波被害を受けた市街地。釜石市街地。



図18 津波の水圧によりコンクリートの壁が押し出された。釜石市街地。



図19 津波により陸に押し上げられた巨大船。釜石港。

住宅として使用できなくなっている。そのため破棄されることになっている。また調査時の8月頃、町は静まり返り、ほとんどの住人は仮設住宅に移動していた。8月には損壊住宅の取り壊しが始まっていた。

(10) まとめ

東北地方の地震災害は千島海溝および日本海溝を境界とする北米プレートに対して太平洋プレートの沈み込みによって生ずる。太平洋プレートは東から西方向に年数センチの速度で移動する。そのプレートの沈み込みによって北米プレート上の北海道東端にある根室の検潮所では潮位に対して地盤沈下が年1cmの割合で進んでいる。これは海溝で海洋プレートが大陸プレートの下へ沈み込む時に両プレートの境界面の一部に固着域ができ、海洋プレートの沈み込みとともに大陸プレートは海洋プレートに引っ張り込まれる。そのため固着域に歪みが蓄積し、限界に達すると固着域ははずれて、プレート境界面は一度に動いて地震が発生する。大陸プレートは急激に跳ね上がって海水を持ち上げ、津波を発生させる。

地震により固着域がはがれると、大陸プレートは跳ね上がり、沿岸部は長年の沈降に相当する量を急激に隆起する。そのため海岸部に海岸線の隆起として現れる。これらは海岸段丘として地理学的に記録される。

北海道東部は過去5500年間に少なくとも15回の大津波が襲来したと報告されている(中島:2012)。このような津波地震は東北地方でも同じように発生している。300年~400年周期で海溝型の地震が発生し、大津波を発生させた。

西日本の南海トラフを震源とする大津波を考察する。東北地方と同様に南海トラフもプレ-

ートの移動を原因としているため、東日本大震災をもたらした日本海溝と状況は同じである。南海トラフに伴う地震発生は100年~150年と言われている。日本海溝および千島海溝が300年~400年で大津波の発生が予想されるならば、南海トラフでは300~400年の中間のサイクルで地震発生があると考えてよいだろう。

南海トラフはユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界であるため、日本海溝とは異なる。プレート間の相対的プレートの移動量が違うため、両プレートの固着域範囲に大きな違いが生ずる。固着域が深いと地中の圧力は高くなり、プレート境界は強く押し付けられ、沈み込みにくくなる。海底下の地中の圧力は深くなるほど高くなる。この圧力はフィリピン海プレートと大陸プレート(ユーラシアプレート)の境界面の封圧として働く。海底下の浅い所では封圧は低いので、プレート境界面は滑らかで、フィリピン海プレートは容易に沈み込む。深さ10kmぐらいになると、地中の封圧は高くなるので、プレート境界面は強く押し付けられて固着する。また深さ30~40kmになると地中の温度が350℃以上になり、岩石が軟らくなる。その影響でプレート境界面の摩擦は小さくなり、フィリピン海プレートは滑らかに沈み込むようになる。プレートの固着域が広いとプレートは沈み込みにくく、歪応力が蓄積しやすく、限界に達すると大地震が発生する。

日本列島の形成はプレートの活動の結果であるから、プレート境界でプレートの沈み込みが続く限り、海溝型の巨大地震は発生する。このような自然災害は歴史的には多数発生しており、自然災害に対する教訓は残っているはずであるが、十分な防災ができなかった。これは大きな反省である。今後、社会の発展とともに自然災害プラス人災によって被害が大きくなる。

災害に柔軟に対処できる社会組織を形成する必要がある。

謝辞

本研究は2010年度の名古屋学院大学奨励研究費により東北日本の自然災害基礎研究を行い、2011年度の奨励研究費で東日本大震災津波被害調査を行った。一部は「東北地方太平洋沖地震による液状化現象について」として報告しました。本研究の野外調査に奨励研究費を使用できました。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 朝日新聞社・朝日新聞出版社（2011）：東日本大震災・報道写真全記録2011.3.11-4.11, 朝日新聞出版社。
- 石川輝海（2012）：東北地方太平洋沖地震による液状化現象について。名古屋学院大学論集（人文・自然科学篇）vol. 48, No. 2, pp. 31-40.
- 三浦 宏（2011）：平成の三陸大津波。岩手日報社。
- 中島林彦（2012）：迫る巨大地震、浮かび上がるスーパーサイクル。日経サイエンス, 第42巻, 第2号, P. 33-43.