





2011年東日本大震災 津波災害調査報告

川辺 孝幸 池田 碩
橋 徹 鈴木 寿志
三上 禎次 開沼 淳一
志岐 常正

A research of the 2011 Great Earthquake
Tsunami Disaster along the Sanriku Coast,
North East Japan

Takayuki Kawabe • Hiroshi Ikeda • Toru
Tachibana • Hisashi Suzuki • Teiji Mikami •
Junichi Kainuma • Tsunemasa Shiki

かわべ たかゆき : 山形大学
いけだ ひろし : 奈良大学
たちばな とおる : 土質工学株式会社
すずき ひさし : 大谷大学
みかみ ていじ : 龍谷大学
かいぬま じゅんいち : 元京都府
しき つねまさ : 元京都大学

(左頁)-----

図 2-A

東日本大震災被災各地の状況。津波により破壊された田老町第2防潮堤。堤体は薄いコンクリートで覆われているが、基本的に土砂で作られている。これを最終的には津波の戻り流れが剥がして堤体を破壊し、これを構成していた土砂とともに海側へ流し去ったことが分かる。

図 2-B

大槌町内邸宅の駐車場跡に見られる(写真中央)数個の"津波石"の一つ。庭石が移動したものである。分布から、元あった場所がほぼわかるので、陸側から海側に向けて、少なくとも数10m運ばれたことが推定される。岩塊についての擦り傷からは、転動だけでなく、跳動もした可能性がないと言えない。砂泥などの堆積物はごく薄く、見られないところもある(やや太いペンキ白線が、岩塊の下の砂に覆われていないことに注目)。ただし、津波後の降雨による流水の影響を受けていないかは確かでない。

図 2-C

段丘面上にある老人ホーム(松原苑)から観る陸前高田市の被災状況。市街地のほぼ全域が壊滅的被害を受けていることがわかる。赤○は下記キャピタルホテル。

図 2-D

陸前高田、キャピタルホテル一階内部の被災状況。このホテルは海に面して建てられていた。この時点では片付けがほとんどなされていないので、津波が乱入するとどのような状況になるかが良くわかる。ちぎれたインフラ配線や割れたガラスがむきだしになっている。松の幹が運び込まれ、海岸線に直角の方向に倒れている。

図 2-E

陸上に打ち上げられた船舶(気仙沼市)。船舶は浮くように出来ているので、その運搬は陸上部でも水深が喫水線より深くなれば、発泡スチロールの破片が流れに乗って移動すること何ら変わりがない。浮遊した船舶の衝突による建物の破壊は、気仙沼市の被災の大きな特徴である。

図 2-F

地盤沈下による冠水状況(気仙沼市市場前郵便局)。本来、海岸近くの湿地であったところと思われる。このような冠水状況は沿岸部の広い地域にわたり、復興の大きな障害、問題となっている。

図 2-G

南三陸町志津川地区の被災状況(2011年10月3日写真撮影)。震災直後には大量にあった"瓦礫"が、この時までには大半のものは片づけられていた。ただし、他の市町村に比べると処理が遅れており、行き場のない瓦礫が数カ所に積み上げられていた。

図 2-H

横倒しになったビル(女川町)。このビルは4階建ての鉄筋コンクリート製であり、杭による基礎の上に建設されていた。震災被災地の状況-現地調査報告。奈良大学紀要、

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う巨大な津波による災害に関し、同年10月、岩手県南部地域から宮城県北部地域にかけて調査を実施した。被災状況が場所により多様であることが注目される。これは、海岸に到達し陸域に遡上する津波の性質が、海底・陸上の地形や建造物の存在などの自然的・社会的条件によって大きく変化することを反映している。このことは、今後の復興問題を考えるにあたり重要である。

1. はじめに

2011年3月11日に東北日本太平洋沖で発生したモーメントマグニチュード(Mw)9.0の地震によって日本列島の太平洋沿岸の広い範囲に津波が押し寄せた。中でも東北地方を襲った津波は巨大であり、その被害も甚大であった。いずれ再びこれらの地域に襲来するはずの津波に対する防災のため、また近い将来に西日本の太平洋沿岸部に押し寄せる津波(東海地震~南海地震)の被害を軽減するために、今回の津波がどのようなものであったかを調査し、記録しておく必要がある。

このため、我々は2011年の10月1日から10月4日にかけて、津波による被害がとくに大きかった岩手県南部地域から宮城県北部地域の巡検、調査を行った。訪れた地域は岩手県では、宮古市田老地区、宮古市市街地、宮古市重茂姉吉地区、山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市、宮城県では気仙沼市、南三陸町志津川地区、女川町、石巻市、東松島市、および仙台市の一部の地域である(図1)。短期間の調査ではあったが、三陸海岸地域(一部仙台平野)の地震-津波災害の問題点を窺い知ることができたので報告する。なお、我々の一部は他の地域をも、なかでも池田は青森県から関東各地にわたり、数次の調査を実施している(池田, 2012)。それら調査で得られた資料のうち、上記各地に関するものを参考にする。

なお、以下の記述では、津波の'上げ波'と'上げ流れ'(遡上流)とを区別して使う。本来津波は沖合では長波だが、岸に近づき水深が浅くなるにつれて波長と波速が縮まり、水の流速と波高は増

大し、さらに、陸域に侵入してからは波でなく、流れの性質が強くなるからである。遡上した津波が海に戻る際には水は流れをなす。これを'引き流れ'(または'戻り流れ')と呼ぶ。

2. 巡検地域の被災状況

2-1) 田老地区(宮古市)

旧田老町(現在では宮古市に合併されている)は、昭和三陸津波より70年を経て記念行事を行い、「津波防災のまち宣言」をしたところである。とくに、明治三陸津波、昭和三陸津波で壊滅的被害を受けて以降に建設され、チリ地震津波に対応できた巨大な防潮堤(高さ10m、長さ2.4km)の設置で知られていた(山下, 2003)。以下では、最も早くに完成した内陸側の防潮堤を第1防潮堤、それ以降増設された防潮堤のうち北東側のものを第2防潮堤、南西側のものを第3防潮堤と呼ぶ。第1防潮堤の内側には古くからの市街地(集落)が広がり、学校や役所もこの地域にある。第1防潮堤と第2防潮堤との間は新しい市街地となっていた。第1防潮堤と第3防潮堤との間は主に林地ないし畑地として利用されていた。チリ地震津波では、これら3つの防潮堤の護りにより、集落には被害がほとんどでいていない。

今回(2011年)の災害では、高度経済成長時代に造られた第2防潮堤はほぼすべてが破壊された(図2-A)。一番古い、地元が造った第1防潮堤や、もっとも新しい第3防潮堤は破壊されなかった。しかし、津波は第1防潮堤も乗り越え、田老地区の市街地うち、沖積低地にある木造家屋のほとんどが土台を残して流失し、鉄骨および鉄筋コンクリート造りの構造物だけが残された。

今回の巡検では第1防潮堤の上を歩いて津波の痕跡や周辺の被災状況を観察した。その結果のうち、以下の諸点が注目される。

- 第1防潮堤上に設置されていた転落防止用のコンクリートブロックの一部が欠損している。防潮堤を乗り越えた船舶によって破壊されたらしい。

- 第1防潮堤に残された欠損したコンクリート

図1 調査地点



ブロックの鉄筋の曲がりや防波堤を横切る用水路の開閉装置、その鉄製のガードパイプなどの曲がりの方向、防潮堤のコンクリートに残された擦痕の多くの方向などからは、津波の上げ流れが防潮堤を越えてこれらを破壊したことを示す。さらに、流れが第3防潮堤の壁に導かれて、第3防潮堤と第2防潮堤との接合部分に集まり、この部分の防潮堤を破壊して、さらに田老地区東部を流れる長内川に沿って沖積低地の奥深く遡上したことが、堤体の壁や上の擦痕や、鉄筋パイプの曲がり、低地奥部の荒れ状況などから推測される。ただし、川沿いのガードレールは一般的に、海へ向か

う引き流れの方向に折れ曲がっていたが、詳しく観察すると、一旦上流側に向かって曲げられてものが最終的には海側に向かう流れで大きく曲げられているものもあった(池田ほか, 2012b)。沖積低地の奥部での、堤内地から川に向かっての戻り流れが推定される。これは、川への流れ込みを含む津波の引き流れが地形的に低いところに集中することを反映している。

・第2防潮堤は、ゲート構造物を残して堤体も広く破壊されて消失している。残された堤体の断面で、その内部が観察できる。堤体の内部は上で形成されているが、堤体外側のコンクリートの破

断面からは、最終的には海側に向う方向の力で破壊されたことがわかる。残されたゲート構造物のコンクリート側面には、鋼鉄の扉の付け根付近に、圧縮による多数の亀裂が陸側に高角度に傾斜する剪断帯をつくって入っている。この亀裂は、陸側から海側に向かう方向の力によって発生した圧縮破壊によるものと判定できる（池田ほか、2012b）。また、第2防潮堤に隣接する陸側の地表面では、海側からの流れによる侵食痕は観察できなかった。これらのことから、少なくともこの部分の防潮堤の破壊は、引き流れの圧力によって引き起こされたと言える。

市街地西端では、津波の遡上流は、高架になっている田老駅（標高10数m）あたりまで達した。津波襲来の直後には線路に多くの流木が残されていたそうである。

田老港北側では、たろう観光ホテルおよび漁業のための冷凍倉庫が津波によって流されずに残っている。たろう観光ホテルは6階建のビルであり、田老地区では最も高い建物であった。冷凍倉庫は5階建のビルである。津波はこれらの建物の3階まで浸水したことが被災状況からわかる。

冷凍倉庫の近傍にあるコンクリート法面には明治三陸津波および昭和三陸津波の、痕跡から知られた津波の高さがマーキングされている。明治三陸津波が標高およそ15mの地点に、昭和三陸津波が約10mの地点に記されている。この法面とそれに続く林の様子を詳しく見ると、浮遊物の付着や低木や草本類の倒れ方から標高約20mの高さまで津波にさらされたことがわかるが、標高約15mの高さまでは表土が剥がされていたり木が倒されているのに対して、それより上では表土とそこに生えていた植生はそのまま残っていて、草本や低木が陸側に倒れていたり浮遊物が付着したりして津波にさらされたことがわかる。すなわち、あきらかに標高約15mを境に津波の性質が異なる。おそらく押し寄せてきた津波の水面高（遡上水面高）が標高約15mで、それが法面などに打ち上げた高さ（打ち上げ高）が標高20mまでであったと思われる（池田ほか、2012b）。過去の津

波のマーキングは、どちらの高さを示しているのだろうか。

田老港の北東方の丘陵部には神社（出羽神社）があり、その参道に設置された手すりは8合目付近（地形図で見ると標高14m程度）まで破壊されていて、津波がその高さまでは遡上したことがわかる。

田老港からは破壊された防波堤をつくっていたケーソンが海中に散在している様子が見える。個々のケーソンは、重力的に積み重ねられた構造であった。なお、防波堤の付け根付近では、アスファルト道路の陸側が洗掘され、数cm～20数cm四方の平板なアスファルト断片が、中礫大の敷石とともに、平らな面を海側に傾斜させてインブリケーションをなして堆積しているのが観察された。これも、防波堤を破壊した津波の上げ流れを示す津波堆積物である。

田老地区の北方に、標高50m前後の段丘面が広く発達しており、ここに津波被災後400戸ほどの仮設住宅が建設されている。コンビニや診療所、理髪店、郵便局、銀行までが設置されており、街の様相を呈している。さらに、沖積低地に隣接する無事だった市街地との間を結ぶ定期バスが運行されていることは注目に値する（池田、2012）。このような段丘面は住宅の“高地移転”の適地であるが、元の居住地に隣接する生産現場の海岸部からは、かなり離れていることが難点である。定期バスは、その難点を解消する一つの手段であるからである。

2-2) 宮古市

宮古市役所(2階まで浸水)の5階で記録された、コンクリート防潮壁を乗り越える津波の映像は、印象的なものであり、これまで何度もテレビ等で放送された。この防潮壁(いわゆるカミソリ堤防)は田老地区の防潮堤に比べると厚みがなく、弱そうに見える。しかしながら破壊されなかった（池田ほか、2012b）。諸種の映像から、津波が段波にならず、長波の性質を残していて、ただ水面を上げて河道を遡上したこと、また、津波は、この付近では防潮壁の方向に対して極めて低角度の進行

方向で運動していたために、津波の運動のエネルギーが防潮壁に直接つたわらなかったことが窺える。これらの理由で、衝撃的な力が防潮壁に加わることはなかったであろう。

宮古市の磯鶏西地区にある埋め立て前の海岸に面した標高約 2m の微高地にあるホテル近江屋 (2 階まで浸水) は、大きな被害を受けたが、早くもその年の 6 月から、上層階を使って営業を再開している。海側の高さ約 4.5m、陸側約 2.5m の防潮堤を挟んでホテルのすぐ海側の埋め立て地は、材木の集積場所として使用されていた。このホテルは、以前から、もし津波が発生したら材木によって大きな被害が出るのではないかと懸念されていた。今回の津波によって、防潮堤とほぼ同じ高さの 1 階部分まで材木が押し寄せ、実際に懸念通りになった。なお、近江屋の建物が津波と材木を受け止めてくれたおかげで、その背後にある住宅は、被害が少なく済んだそうである。

なお、ここでも津波は防潮堤を越えてはいるが、それをほとんど破壊していない。

一方、宮古市金浜地区では、防潮堤が広く破壊されている (池田ほか, 2012b)。防波堤の陸側の基部から陸地側が大きく洗掘されて、その基部が露出している。防波堤内部の上盛りは、陸側表面のコンクリートとの境目で侵食され、そのコンクリートの一部は壊れて、数 10 ～数 m の断片となって堤防上面に堆積している。一方、防波堤を横切る水路の水門構造物は、北側の一部を残して破壊されて海側に堆積している。残された構造物の鉄筋は、海側に曲げられている。このような被害は、上げ流れによる陸地側の侵食とともに、地形的に低い水路部分への、下げ流れの集中によるものと考えられる。

宮古市姉吉地区は、今回の津波で標高約 40m まで遡上したところの一つとされている (東京大学地震研究所 HP, 2011 ; 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ HP, 2012)。姉吉集落から海岸へ下る道に津波の碑がある。これまで、明治三陸津波の遡上最高地点に建てられたものと見なされているが、この碑のあるところが、この付近での

今回の最高位痕跡高 (植生や木の枝に残されたビニール等から読み取れる津波の遡上高) より高いことが注目される。谷にみられる痕跡の高さは谷の右岸と左岸で大きく異なっており、攻撃斜面側が高い。ほとんどの木の樹幹や根の転倒方向は、海へ向かっての流下方向を示しているが、ガードレールや樹幹が剪断されているものでは、流下方向とともに遡上方向を示しているものもある。なお、この谷では、津波によって運び上げられたと明確に言える堆積物を認めることは出来なかった。

2-3) 山田町

山田町新開地では、標高 20m ほどの "高台" にあった大沢小学校は津波被害を免れた。しかし、それより低い場所は構造物のほとんどが破壊され、木造構造物のほとんどは流失した。山田湾の湾口から約 2km 西北西の山田町浜川日地区には海岸沿いにはほぼ東西に道路が走っているが、この道路の一部は津波によって破壊されている。路盤は海に散乱し、ガードレールは海側に曲がっていることから、引き流れによる破壊が大きいとみえる。しかし破壊されたガードレールの支柱や電柱などは、北東方向に陸側を向いて折れ曲がっているものが多い。北東への曲がりには遡上流によるもので、津波はここでは南西から侵入したことがわかる。一方、山田湾においては、湾口の津波は北東から侵入したはずであり、この南西からの流れは、湾に侵入した津波が湾奥部で反射したものであるかもしれない。

2-4) 大槌町

沖積低地がほぼ全域にわたり浸水し、町長をはじめ町役場の非常に多くの職員が犠牲となったところである。いくつか火災は発生したが、上町地区の神社まで及んだものは周辺地域の被災家屋や瓦礫を焼き払った。大槌町での火災の原因はいくつか考えられるが、調査時、火力でプロパンガスのボンベが破損したものが置いてあり、これも一つの原因と考えられる。

構造物とともに人的被害も大きかった大槌町では、津波堆積物はあまり残されていない。たとえば同町本町地区にあった役場の周辺では、建物基

礎のコンクリートの一部に、最大 3cm 程度の薄い津波堆積物が分布していたに過ぎない。一方で、役場から約 180m 北の丁字路の南東角にある駐車場に、メタチャートの巨礫（メートルサイズ）が複数個散在している。一部の礫には底部が地中に埋められていた痕跡があり、これら庭石が移動してきたものであることがわかる（図 2-B）。これらの巨礫は、地元の方によると、駐車場から北西約 50m の住宅の庭にあったものである。何西および北東に隣接する道路や駐車場アスファルトの表面には、弱いながら打撃痕や北西から南東方向への削痕が見られ、引き流れ方向のトラクションによる移動を示す（池田ほか、2012b）。転動したことを示すものはない。つまり、津波の引き流れは、しばしば巨礫をトラクションとともに躍動させている。蛇足ながら、ここで、コンクリートに削痕が見られるのは、砂泥などの津波堆積物が堆積残留していないからであることを指摘しておく。このことは今回の巡検での各地で観察された削痕に共通である。

大槌町役場の北西部の丘陵地に城山公園がある。この公園からは町全体の様子が見渡せるが、この町には移転の候補地として適当な高台がないことが良くわかる。大槌町の県道 280 号より海側は、地震時の沈降に伴って、調査時（2011 年 10 月 2 日）でも湛水状態にあった。城山公園の麓の大槌小学校には役場の仮庁舎が設置されている。そこに併設されている国の出先機関に所属している地元の方の話では、震災前に買った土地が現在では湛水状態にあるとのこと。この方は国による土地の買い取りを希望していた。

2-5) 釜石市

世界最大水深（水深 63m）の湾口防潮堤があったが、湾口の防波堤とともに、今では残骸だけが残っている。津波は JR 釜石線付近まで達し、これより海側の建築物はすべて流失した。しかし、8 年にわたる群馬大学片田教授の指導により、小学校の児童がほぼ全員避難して無事であった。釜石港では、1000 トン級の中型船（アジアシンフォニー号）が津波によって岸壁に座礁させられてい

る。防潮壁への上からのめり込み具合を見ると、めり込まれた護岸は、海側に傾いており、めり込んだ船の鉄板は、陸側がめくれている。一方、この船の約 10m 南側の防波堤の上から陸側の側面にかけて、約 2m の幅で剥離痕が残っていて、角に海側からの圧縮力が働いたことがわかる（池田ほか、2012b）。これらのことから、船は沖側からこの防波堤にぶつかって座礁したのではなく、侵入した津波に乗って一旦陸側に運ばれたが、引き流れとともに海側に戻りはじめ、ちょうど防潮壁のところまで水位が下がって、堤防に戻りながらめり込んで落ち着いたのではないと思われる。

ここでも沿岸部では地震時の沈降運動によって標高が低下し、満潮時には冠水する地域が広がっている。そのため交通規制がしばしば行われている。

2-6) 大船渡市

昭和三陸津波やチリ津波での被害に鑑み、他に類を見ない、地区毎の、計 125 頁に及ぶハザードマップが編纂され、非常に優れた津波対策が進められていたところである。しかし、その想定は、現実の規模より小さかった。今回の津波では、工場や倉庫が立ち並ぶ大船渡港近辺（湾の最奥部）や、盛川が流下する沖積低地の市街地が全面的に被災した。江戸時代後期の伊能図や大正 2 年測図の 1/5 万地形図を見ると、実は昔の人は住まなかったところである。大船渡市中心部の西側に分布する中位段丘面上にも、大船渡北小学校のほか、住宅が多数あるが、これらは津波の大きな被災を免れている。ただし同じ中位段丘面上の住宅地でも、やや低い面に建てられている家屋は津波の被害を被っており、数 m のわずかな違いで被害の状況が違っていくことがうかがわれる。魚市場や漁港は沖積地を外れた南の海岸にあり、被害が比較的軽微で済んでいる。

津波災害後、高台の土地が良く売れ、地価が上がっているようである。

2-7) 陸前高田市

海岸の砂丘にそって発達していた松原が、一本の松を残して消失、ないし倒れたことで注目されている。市街地のほぼ全域が被災した（図 2-C）。

陸前高田市の津波被害、とくに松林の消失には、その市街が臨む広田湾の海底地形の関係で、湾奥で発達した段波の襲来が大きな役割を果たしたと考えられる。低位段丘上でも被災しているところがある。海面より9m以上高いところ、たとえば老人ホーム（松原苑）は無事であった。

松林から引き抜かれた大きな松の幹が、海に而して立地する10階建てのホテル（キャピタルホテル）の一階に運び込まれていた（図2-D）。このホテルの陸側基礎の部分には開口亀裂が生じている。一方、海側には逆断層様の破断面が連続し（圧縮を受けている）、かつ10cm程度沈下している。これらの現象は引き波の力でホテルが海側に傾動もしくは移動したことを示している（池田ほか、2012b）。

陸前高田市の市街地の東側にある浜田川の沖積低地の海岸から数100mほど内陸側に入った水田に、今回の津波による砂層が広く堆積していたので、一箇所を選び、はぎとり調査を行った。この堆積物の垂直断面には、上げ流れと下げ流れの両方で形成された複数のユニットからなる堆積物が残されていた。海浜に砂丘が発達していたので、その砂が瓦礫とともに津波で運び込まれ、他の地域に比べて津波堆積物が顕著に形成されたものと思われる（池田ほか、2012b）。

2-8 気仙沼市

気仙沼市でも、すぐれたハザードマップ（気仙沼市2009）がつけられていた。行政、市民、専門研究者によって、日本国内だけでなく、世界でも先進的な防災の取り組みが、ハード・ソフトの両面にわたり、なされていたところである（例えば柄谷ほか、2003；片田ほか、2004）。しかし、市街は広く壊滅的被害を被った。

この沿岸部での被災の大きな特徴は、津波によって陸域に流れ込んだ船舶の衝突で、多くの施設や家屋が破壊されたことである。我々の巡検調査の時点（10月はじめ）でも、海岸から600mの陸上に大きな船が残されたままになっていた（第十八供徳丸：図2-E）。

気仙沼湾は、陸前高田の広田湾と異なり、狭長

なだけでなくその湾口から浅いという特徴がある。おそらく津波は湾口ですでに段波となり、あるいは一旦砕け、流れとしての性質が強くなったものと考えられる。この津波の流れが湾奥から陸域の市街地に侵入した。海岸や海岸近くにあった船舶の多くは、ただ持ち上げられて岸壁や堤防に衝突せずに、流れのままに運ばれて市街地に浮遊運搬されたにすぎない。

火災の発生が施設や市街の被害を増幅した。気仙沼湾岸にはいくつかの重油などの石油タンクが存在しており、これらから流出した油類が火災を拡大させた原因の一つと考えられる。現地調査時にも若干の油臭が漂っていた。

沿岸部では地震時の沈降に伴う冠水が広く見られ（図2-F）、復興の際の大きな問題となっている。気仙沼市の魚市場の岸壁やその周辺の道路はかさ上げによって使用可能になったが、かさ上げされていない宅地は現在でも冠水によって使用不能な状態が続いている。満潮時には魚市場の一部も冠水する。リアスシャークミュージアムの側にも船舶が打ち上げられたままとっている。

船舶と港湾施設の一刻も早い整備は気仙沼市復興の基本問題である。次の津波に備えた将来計画を考える上で、津波が船舶を持ち上げて市街地に運び込む危険への備えは、沈下した地盤の嵩上げなどととも、厳しい課題であると言わざるをえない。

一方、気仙沼の魚市場の屋上階は津波避難タワーとして利用されており、今回の津波でもほとんど破壊されず、ここに避難した人は助かっている。このことも、上記のような、衝撃的破壊が弱い気仙沼湾奥海岸での津波の性質に関係がある。

気仙沼湾の湾口部で太平洋に面した旭崎にある杉の下地区は、海岸から500m程度内陸にある丘陵地（段丘）である。標高10～15m程度の平坦面をなしているが、そこでも高さ2～3mまで津波が押し寄せた。段丘面上には基礎だけとなった建物跡がある。段丘面上から眺めると、この地点は海からはかなり高い場所であるように感じられ、津波が来そうな場所には見えない。この段丘上に

避難していた方々は犠牲となったそうである。ここでの津波遡上の例外的高さは、地形が本来トンボロとして形成されたものであることに関係する。すなわち、津波がトンボロの先端で回折し、かつ湾曲した海岸地形によって集中し、津波高が高くなりやすいということである。しかし、これまでの経験から、この場所は津波に対して安全であると考えられていた（気仙沼市、2009）。

2-9) 南三陸町志津川地区

南三陸町志津川地区では、地区内を流れる八幡川や新井田川の沖積低地では、約1.5km上流まで津波が遡上したために、谷の奥まで津波の被害が及んだ。木造構造物はほとんどが流失し、役場や病院を含む市街地の中心部の主要構造物も被害を受けている（第2図-G）。町内中心部にある5階建ての志津川病院は4階まで津波が到達した。3階建ての防災対策庁舎を襲った津波はその3階で避難を呼び掛けていた職員を犠牲にした。屋上では、アンテナにしがみついで助かった人もある。津波の遡上流は庁舎の鉄骨を残して通り抜けた。なお、今回、我々は河川の水位が普通の河川より高いように感じたが、沈降による標高の低下のためであろうと考えられる。実際に、17時過ぎに河川沿いの道路を歩いた時には、満潮によって高くなった塩分を含んだ河川の水が、水路や堤防沿いの道路の亀裂から吹き出して市街地に流入し始めていた。

2-10) 女川町

女川町も、女川湾に続く沖積低地にある市街部のほぼ全域で、木造構造物だけでなくコンクリート構造物を含めて被害を受けた。高台にある町立病院の標高は10数mであるが、1階部分が1.5m程度浸水した。この街では4棟のビルが横倒して、運搬・移動した。そのうち3棟は基礎に杭が打ち込まれていた。杭を基礎とするビルが転倒したのは女川町の、この一帯だけである。

図2-Hには横倒しになったビルが写されている。このビルは杭基礎をした4階建ての建物であり、元あった場所から10m程度内陸側に移動している。元あった場所と現在ある場所の間には駐車

場があったが、駐車場の表層のコンクリートには、建物が引きずられたような跡は、建物の南西側の角が付けたものだけしか残っていない。しかも現在の場所までの間は途切れていることから、最終的には浮き上がって運ばれて着地したとみられる。津波の流れは、場合によっては中が空洞のコンクリート建造物を浮遊運搬することが出来るのである。

建物には杭が一つぶら下がっている。この杭は、もともと建物の海側の基礎を支えていた杭であるが、緩く転倒方向と逆側に湾曲し、さらに湾曲の外側の数ヶ所に破断面がある。このことは、内陸側の基礎を支点として建物が内陸側に倒れたために、曲がりながら引き抜かれたことを示している。他の杭は基礎の根本からちぎられている。

なお、この付近のビルがすべて横転したわけではない。上記のビルと異なり海側に移動したビルもある。引き流れが集中した場所にあっているようである。

なぜこの地域でのみビルが横転、移動させられたのかは議論のあるところである。転倒したビルはいずれも窓が小さいとは言える。津波の応力が増えられる前に、液状化で杭が損傷していた可能性も考えられなくはない。街の中では、一部、液状化の痕跡が認められるが、それはブロック敷の歩道の隙間に見られるもので、ブロックの敷き砂が液状化したための可能性もあり、地表下の地層が液状化したことを示す明確な痕跡は、転倒したビルの跡地を含めて、認められない。現時点では、実際のところ、ビルの転倒に関しては、原因が良く解明できていないと言わざるをえない。

女川町から石巻市に抜ける峠道の最も高くなったあたり（標高14m）にコンビニエンスストアがある。この場所では約1.5m程度浸水したそうである。近隣の家々の壁には浸水泥水の跡が残っている。電柱や看板などには、道路面から約3.5m上に、浮遊物が衝突した痕跡があった。市街地において、標高約15mの地点での、水面から突き出した浮遊物による衝突痕を含む今回の津波の痕跡としては、田老町のものを除き、もっとも高いもの

の一つである。女川湾から続く緩い傾斜の谷地形という、地形的特徴が津波の遡上を助けた可能性がある。実際の水面跡と水面から突き出た浮遊物が付けた痕跡との間に2mの開きがあることは、津波の高さを推定する際に、注意すべき点である。

なお、この地区の斜面上に建てられた家屋の盛り土には、地震によるすべりが認められた。

2-11) 石巻市

海岸平野が広く、津波はその奥の全域にまでは入らなかったが、市内の中央部にある日和山より海岸部や、北上川沿いに、木造建造物の流失や損壊などの被害を被った。被害地域の多くは、元湿地や水田であり、比較的新しく市街が広がったところである。建造物は必ずしも倒壊はしていないが、人命の犠牲は東北で最多であった。

中瀬地区の旧北上川下流部の中州は、地震時には液状化しやすい砂層が発達していると考えられる。そこで液状化の痕跡を探したが、石の森漫画館西側石垣に膨らみが認められた他には、顕著なものは見あたらなかった。川沿いの堤防に残った手すりのパイプの多くは、田老地区のものと同様に折れ曲がっていた。曲がりの向きは川から州に向かう方向、州から川に向かう方向、川の上流方向への向き、下流方向への向きなど一定せず、場所により偏りがあった。堤防には多くの擦痕が認められるが、それを付けた物体は特定困難であった。州の表面では、砂からなる津波堆積物はほとんど見られなかった。一方、散乱した石や木材の配列から、下流側への流れがわかる場所があった。しかし、津波後に台風などの豪雨による増水によって洪水が州の上を流れたことがなかったかは確認しておらず、下流側への方向を示す配列が、津波の引き流れによるものと断定することはできない。

2-12) 東松島市

東松島市ではJR東日本野蒜駅を訪れた。この駅は海岸から1kmほど内陸にあり、海岸との間には砂丘や松林、東名運河(幅25m程度)などがある。津波後、運河の海側の低い土手の壁には、ところによりわずかな崩れがみられた。しかし、運

河は、崩れの末端で、わずかに埋まっているにすぎない。また、運河をまたぐ橋の欄干は、遡上流によって陸側に倒れて壊れている。駅があるJR仙石線はこの時点でも運休中であり、線路は荒れた状態となっていた。駅ホームの下げ看板や柱のかなり高いところ(ホームから上約4m)に津波痕跡(喫水線)が残っていたが、ホーム上には一部アスファルトが侵食され、砂質の堆積物は残っていない。ホーム南西端の下り線(陸側)の軌条の上には、ホーム内部を埋めていた砂や採石が、侵食部から伸びる州をつくって堆積している。

津波は、この駅と線路を越えて浅い谷状の沖積低地のかなり奥まで達したが、住宅や公園、学校の植木などにはほとんど影響を及ぼしていない。この沖積低地奥の野蒜小学校校庭(標高約4m)には、仮設の郵便局や役場その他が設けられていた。今回の被災地域では、いわゆる高台の上でないところに仮設建物が置かれた例として珍しい。

2-13) 仙台市浪分神社

仙台市若林区霞日2丁目15番地には、浪分神社がある。浪分け神社に掲示の火泉重治氏による「浪分神社の由来」の記述によれば、もと、稲荷神社と呼ばれ、1702年に、現在の位置から約500m東南東の八瀬川稲荷堂(現若林区八瀬川の共同墓地、N38°13'49.9", E140°56'11.7")にある高さ2m程度の小丘に建てられた。そのあとに襲った地震津波の際に、この小丘まで津波が到達して浪が二手に分かれて津波が収まった。このことを機に、浪分神社と呼ばれるようになったと伝えられている。その後も、1835年の天保の地震津波の際に、現在地に移された。

現在地では、現地観察と聞き取りにより、今回の津波はここまで達しなかったことを確認した。また、地震直後の空中写真でも、八瀬川には到達していない。これをどう評価するかは議論のあるところであろう。慶長三陸津波(1611年)や1700年代の当時から比べると、海岸線の前進や、堤防状の高速道路盛り土、沿岸部の宅地化などの陸上の構築物などができていることで、津波の遡上流のエネルギーが減衰されたことなどが考慮されね

ばならない。確認できていないが、浪分神社の位置は建立当時から移動しているとの話もある。

なお、この地に至る途中の仙台平野の広い範囲で電柱が傾いていた。これを系統的に観察すれば、仙台平野での表層部の地層の液状化の調査、あるいは津波の上げ流れや下げ流れのエネルギーや流向の復元ができるかと思われる。ちなみに、石巻市から浪分神社に向かい通過した範囲に関する限り、津波堆積物をほとんど見なかった。すでに人為的に洗い流されたにしても、沿岸部では、堆積物と流速との関係で通過域となっており、もともと厚くは堆積できなかったであろう。

3. 調査結果の概括

今回の、主に津波災害に関する上記の観察、調査結果から、現在の時点で注目すべきと思われる事項をいくつか列記する。概括的に言えば、津波による被害は、地震時の地殻変動による沈降や強震動、表層地質の液状化などの自然の運動のほか、火災その他の社会的象徴（もちろん、その最大のもは原発事故である）と複合して複雑化し、拡大した。昔は人が住まなかった地域への市街地の拡張や土地利用の変化、産業構造の変化などの社会的環境変化がその素因をなした。

・今回の津波が、例外的な場所を除けば、チリ津波、昭和三陸津波、明治三陸津波のいずれよりも大きく、ほとんどの地域で、遡上高、侵入範囲ともに、災害対策が想定していた規模を大きく越えたことは良く知られるとおりである。これら過去の津波を経験して津波防災を考えていた人々までもが、少なからず犠牲となった。

・陸上に津波の遡上流が達した場所の標高は、今回の調査範囲の市街地だけに関して言えば、宮古市姉吉地区を除けば約 20m ぐらいである。しかし、市街地以外では、痕跡の位置が標高 40m 近くに達したところもある。

・平地よりやや高く、いわゆる高台として、安全とされてきた段丘にも、今回は浸水したところがある。場所毎に浸水要因の具体的説明が求められる。一方、今後の利用の適地もある。ただし而

積的に足りない場合も多い。適当な高台が存在しない市町村もある。

・津波の遡上高は、単純に海岸からの比高や距離によっては決まらない。また、陸側の物体（山の斜面や崖、建物など）に衝突した際に打ち上げる場合もその高さが「津波の高さ」として評価されてしまう場合や津波表面から突き出た浮遊物によってつけられた衝突痕などもあるので注意を要する。詳細に調査をすれば、沖合から海岸までの津波発生・伝搬域における地殻変動や海底地形に由来する地震津波の性質を、海岸から内陸部については地表の構造物や地形による津波流の運動の影響を、さらに明らかにすることができるだろう。

・一方、今回の津波の遡上最大水位が、過去の津波の伝承に及ばない例が、少なくとも 2 箇所あることは注目される。宮古市姉吉地区では、今回の津波の最大遡上高（約 40m）に近い高さまで達したが、それは、より古い津波の到達を示すと言われる碑の位置よりも低い。仙台平野の浪分神社付近の例とともに、前述の遡上高の件も含めて検討を要する。

・仙台平野は沿岸部を中心に広く被害を被った。江戸時代を含め戦後の高度成長経済期までは、津波被害を避けるため、農地以外ではほとんど土地利用されていなかった地域である。これに対し、三陸海岸地域のリアス式地形の小沖積低地は、いずれもほとんど壊滅的に被災した。ただし、被災直後の生活のための土地利用に関しては、生産の場との距離の問題など、いくつかの問題を残したと思われる。

・海岸や低地に建てられていたビルの被災は、場所により、3 階までや 4 階までと高さに違いがある。女川では転倒、移動させられたケースがある。個別のビル毎に、被災の経過や要因がさらに検証される必要がある。

・三陸海岸南部や仙台平野の構造運動による沈降と表層地質の液状化や地層短縮による標高の低下は、海浜での生業施設の復興が急がれることに関係し、厳しい問題である。すでに地盤の嵩上げがはじめられている。それは必要だが、今後の津

波や、地震の際の液状化への対策などが求められる。

・内湾の、かきや海苔などの栽培・養殖漁業が壊滅的被害を被った。2011年津波のような巨大津波でなくとも同様な被害は発生する。実際、その2日前の3月9日の地震(Mj 7.3)によって、三陸地域ではカキの養殖筏が被害を受けている。一方、場所によっては、津波が海底の海棲生物環境を再生させたいとの話が聞かれる。すなわち、陸地や海底の人工改変によって変えられてきた低質や水質などの海棲生物環境が、津波によって自然に近い状態に戻ったということである。我々の今回の巡検ではこれらのような問題を直接には調査、検討することができなかった。しかし、山田町新開地などのように、湾内での津波の動きの性質などを、陸上に残された津波堆積物や被害残留物の検討から読み取り、参考になる資料とできる可能性をさぐる事が出来たと考える。

・防波堤、防潮堤は、それなりに役割を果たしたところがある。しかし、少なからぬ地域で、高さが足らなかっただけでなく損壊した。一方、これらの存在が、津波の高さを上げた可能性がある。また、津波が堤防を乗り越えるときにエネルギーを減衰しても、流下する際に位置エネルギーを得た分、流れとしてのエネルギーが大きくなってしまう。

・今では多くの人々が認めているように、高い防潮堤の存在が、住民の意識に絶対の安心感を与えてしまったことが被害を大きくしたことは否めない。また一方で、今回の津波では薄い防潮壁でも壊れなかったところがある。個別の地域の海底や陸地の地形を含め、津波とその流れの性状、特徴と、その防護施設に対する働きの違いに関し、検証、想定、に欠けるところがあったと思われる。今後の重要検討課題であることを強調したい。

・海浜の砂丘や松林は、これまで防災に有効な働きを担ってきた(首藤, 1985)。今回の巨大津波は、陸前高田や仙台平野で、これらに大きな被害を与えた。松林や砂丘は、津波のエネルギーを減衰させる役割を果たした。一方で、浸食された樹

木や砂が内陸に運ばれて被害を大きくしたことも否定できない。今後、砂丘上の防潮林として、塩害に強い黒松の植生とともに、砂丘表面付近の津波による侵食や松の幹間を通過する際のエネルギー低減のために、根張りの良い中・低木広葉樹などの混植も検討される必要があろう。

・船舶が津波によって600mも内陸まで運ばれ、建物や施設に衝突し、これを破壊した。同様の事態の発生は、2005年スマトラ沖地震津波(インド洋津波)のケースをはじめ(例えば橋本ほか, 2009)、これまでに知られていたのだが、有効な対策は検討されていたのであろうか。今後とも検討・対策が必要がある。

・陸域では、津波の上げ流れはシート状に侵入するだけでなく、途中で破壊した瓦礫を巻き込んで、先端部では、さながら土石流のように、さらに障害物を壊しながら運動する。また、川や用水を遡上し、地形によっては、市街地や田に背後から流入した。

・津波の引き流れは、陸上でも少しでも低いところに集まろうとし、局所に集中して激流を造ることが少なくない。このようなところで、防潮堤やビルの転倒や破壊が起こった。

なお、津波の概略的な浸水域については原口・岩松(2011)によってまとめられている。また、ここで指摘したいくつかは、引用で示したように、他の調査者の報告内容に一致する部分もある。しかし、今回の災害に特徴的であり、今後の防災や復興のために重要と考えられる事項については、あえて重複をいとわずに記述した。

4. 考察, 討論

今回の津波災害に関して注目されることは、被害の場所による多様性である。これには地震の影響の大小も関係しているとしても、津波自体の場所による相(特徴)の時系列的変化が大きく関わっていると言える。とくに防潮堤などの損壊にはこのことが関係している。例えば上に記した宮古市の田老地区やその他の地区、宮古の川沿いの防潮堤、防潮壁の破壊状況の場所による違いには、

襲った津波の性状の違いが効いていると考えられる。陸前高田市の砂丘や松原の改変、消失には、上記のように、広田湾の海底地形に関係して、湾奥で段波が形成され砕波したことが大きな要因をなしたと考えられる。上には触れなかったが、釜石市市街を襲った津波のテレビ画像でも、砕波した波が波状段波をなし、複数の波が続けて遡上し、激甚な被害を与えたように見える。女川市でのコンクリートビルの転倒、移動は衝撃的な事例であるが、転倒や移動の方向や擦痕・基礎杭の変形状体などから、その転倒・移動のメカニズムはビルごとに異なり、津波の流れの局所的な変化などに起因するものと考えられる。

このような、津波自体の場所による多様性は、海域、とくに海底や、陸域の地形によって大きく支配されたものであることは言うまでもない。これに、自然を無視した近代、近年の地域開発などの社会的素因が加わった。このような、今回の災害の発生・拡大メカニズムは、場所によって異なる。これは自然条件・社会条件が場所によって異なるからである。東北被災地の今後の住居地再開発や生業条件の復興計画を、広域的に一律に立案するのではなく、これらの違いを踏まえた上で、個々の地域ごとに立案することが重要である。

ここで、津波の研究の上では、堆積学的調査・研究が極めて重要、有効であること指摘する。ここで言う津波堆積物には、従来から扱われてきた砂や泥などの自然粒子のほか、瓦礫、運ばれた船舶や自動車や電柱、ガードレール、庭石、壊れたが移動まではしなかった構造物、植栽も含め、地上および海底にある全ての人工物も含まれる。これらこそが、せいぜい1m以下の低速でしか堆積しない土砂堆積物にもまして、まさに現地での津波の働きとそれによる被災のメカニズムや経過を記録している物的証拠である（川辺ほか、2012）。このことは、東日本大震災の津波堆積物調査に関する最近の総括的な報告（たとえば後藤ほか、2012；日本科学者会議編、2012）でも注目されていないので、特に強調したい。

なお、やや特殊な問題だが、今回の津波では、

陸上に形成、分布した津波堆積物の厚さが、どこでも意外なほどに薄いことは、筆者らにとっては意外であった。今村（2011）も指摘しているが、津波の遡上範囲は、堆積物の分布よりはるかに広い。このことは、堆積物から過去の津波の遡上範囲を推定する場合の大きな問題である。津波の遡上高に関しても同様な問題がある。たとえば、896年の貞観地震とそれによる津波が、今回の地震や津波に近い大きさのものがあったことが堆積記録から指摘されているが、この津波は、これまで推定されていたよりも、さらに大きかった可能性も検討を要する（例えば杉本、2011）。一般に、堆積物は、堆積物粒子を運搬してきた流れが、概ね粒子の堆積限界以下の流速になって、初めて堆積する。遡上してきた津波の流速は、ほとんどの場所で、堆積限界よりはるかに速いため、堆積物は堆積できない、あるいは一旦堆積しても再び浸食されて残らない。このような堆積学上の問題は、むしろ記録としての堆積物の有効性の限界に関することとして重要と言うべきかも知れない。さらに、津波高を論じる際、浮遊する瓦礫による衝突痕や漂着物は、女川町の例や気仙沼市の船舶による衝突痕の例など、実際の津波水面の高さと大きく異なる場合もある。このことも津波の規模を評価する上で慎重に検討されなければならない問題である。

今後の復旧、復興に向けての計画造りに関し、現在、現地でもっとも論議されている難しい問題は、上記、防潮堤の高さの設定、いわゆる高台移転、土地の嵩上げ、などである。もちろん、住まいだけでなく、生業の一日も早い回復の見通しの確立が急がれる。これらに関しては、我々も具体的場所を選んで、検討を進めている（国土問題研究会編、2012）。本報告では、これらの社会科学的課題のいずれもが、たとえば津波の運動に海底・陸上地形や防潮堤を含めた人工構造物がどのような影響をおよぼすのかといった地球科学における未解明の問題と密接に関係しており、地球科学の発展を要求していることを強調したい。さらに多くの具体的事例については、稿を改めて論述する。

なお、上に、大船渡市と気仙沼市に優れたハザードマップがあったことに触れたが、これに限らず、三陸海岸の今回の津波による被災市町村のほとんどでハザードマップは作られ、それに基づいて防災が取り組まれていた。それにも関わらず甚大な被害を被ったわけであるが、このことはハザードマップの重要性を否定することではない(池田, 2012)。この問題についても、ここでは、ハザードマップの作成にあたって、地球科学的検証と深く関係する、地域の地形・地質条件の違いや津波の挙動などの視点が重要であることを指摘するに止め、やはり今後の機会を期することとする。

5. おわりに

本巡検調査の時点では、震災から約7カ月が経過していたが、記録すべき事項が多数残されていた。同時に、消失しつつある情報(津波の痕跡の一部)もあった。

残念ながら、もっとも深刻な事態にある福島県については、原発問題だけでなく、地震や津波による被災についても、全く現地調査を行うことができなかった。

津波による被害状況について、そこから教訓を見出し今後の防災に生かすために、実に多くの調査、研究がなされている(例えば日本地理学会, 2011; 国土問題研究会編, 2012; ほか参考文献参照)。上記の我々の記述も多少でも参考にされるならば幸いである。さらなる現地調査と記録が望まれる。西日本での大連動地震津波の襲来が、一日、一日近づきつつある。

謝辞: 現地で住民や行政の方々に調査の便宜、あるいは被災状況についての説明をいただいた、国土問題研究会の紺谷吉弘氏、新建築者技術者集団の本多昭一氏その他の方々からは専門的示唆や討論、激励などを得た、奥西一夫氏、風岡 修氏には査読をいただき、原稿を改善することができた。ともに深く御礼申し上げる。

参考文献

- [1] 後藤和久・箕浦幸治(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震津波の反省に立った津波堆積学の今後のあり方。堆積学研究, 投稿中。
- [2] 橋本貴之・越村俊一・小林英一(2009): 津波による大型船舶の漂流挙動解析-インドネシア・バンダアチエにおける事例-。土木学会論文集B2(海岸工学) 65, 316-320。
- [3] 池田 碩(2012): 超「想定外」だった「東日本大震災」40, 55-80。
- [4] 池田 碩・開沼淳一・川辺孝幸・三上禎次・志岐常正・鈴木寿志・橋 徹(2012): 2011年東北日本津波災害調査写真報告。地球科学, 65, 205-208。
- [5] 原口 強・岩松 暉(2011): 東日本大震災津波詳細地図(上・下巻)。古今書院, 168p+98p。
- [6] 柄谷友香・越村俊一・首藤伸夫(2003): 津波常襲地域における持続可能な防災教育に向けた防災知識の体系化に関する研究-気仙沼市の高校を対象とした津波防災講座を事例として-。海岸工学論文集, 50, 1331-1335。
- [7] 片田敏孝・桑沢敬行・金井昌信・児玉 真(2004): 津波防災の実態にみる安全・安心に関わる社会技術に関する基礎的研究。社会技術研究論文集, 2, 191-198。
- [8] 川辺孝幸・大沼由佳・佐々木 愛(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震による仙台平野の津波の侵入過程と津波堆積物。環境地質シンポジウム論文集, 21, 93-98。
- [9] 気仙沼市(2009): 気仙沼防災マップ 津波全体図, 気仙沼市。
- [10] 国土問題研究会編(2012): 特集: 東日本大震災。国土問題, 73, 82p。
- [11] 宮古市(2007): 宮古市総合ハザードマップ(冊子50p)。
- [12] 日本科学者会議編(2012): 地震と津波—メカニズムと備え。本の泉社, 231p。
- [13] 日本地理学会(2011): 緊急特集 東日本大震災。地理, 56-6。
- [14] 首藤伸夫(1985): 防潮林の津波に対する効果と限界。海岸工学講演会論文集, 32, 465-469。
- [15] 杉戸信彦(2011): 貞観津波の規模は?。地理, 56-6, 91-95。
- [16] 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012): <http://www.coastal.jp/tjtj/index.php?FrontPage>
- [17] 東京大学地震研究所(2011): 2011年3月東北地方太平洋沖地震特集<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2011/04/inquiry/>。
- [18] 山下文男(2003) 三陸海岸・田老町における「津波防災の町宣言」と大防潮堤の略史。歴史地震, 19, 165-171。

□