



1. はじめに

2011年3月11日14時46分、宮城県沖 を震源としたマグニチュード9の巨大地 震および津波が発生した。気象庁により 「東北地方太平洋沖地震」と命名された 地震により、東日本を中心に強震動が記 録され宮城県北部では震度7を観測した。 伴い発生した津波については被災地域で の主な験潮所の機器が破壊されたため最 大波に関して記録されていないが(初動 の記録はあり)、浸水痕跡調査から最大 40m以上もの遡上高さが報告されている (森, 2012)。今回の大震災は我が国での 歴史上最大の規模であり、沿岸各地で特 に壊滅的な被害を与えた。その影響は、 人間社会だけでなく、沿岸地形の変化さ らには生態系へも影響を与えた。

当時の記録や現在まで解析された成果 をもとに、巨大津波のメカニズムや被害 の研究についての概要と今後の課題の整 理を試みた。特に、低頻度巨大災害に対 する評価方法についてはいまも重要な論 点であり、国内外で可能性がある同規模 の災害への備えおよび減災対応に対して 総合的な科学技術がどのように貢献でき るかが問われている。

1.1 常襲地域での巨大地震と津波発生の 概要

東北および関東地方での太平洋沖は、 過去においても津波を伴う地震が発生 し、被害を繰り返してきた地域である。 代表的な地震・津波としては、869年貞 観、1611年慶長奥州、1896年明治三陸、

1933年昭和三陸などが挙げられる(図-1参照)。特に、1896年明治三陸地震に よる津波では、地震による揺れが小さい にも関わらず、最大遡上高さ38mを記録 し、当時で2万2千名の犠牲者を出した。 「TSUNAMI」という日本語が世界語に なった理由の1つでもある。大災害の度 に、沿岸各地で復旧・復興が図られたが、 高地移転しても元の場所に戻るなど、数 十年後さらには数百年後には、津波によ る大災害を受けることを繰り返してきた 歴史がある。従って史料や文献により約 400年間であるが、繰り返し性(サイクル) も地域ごとに評価され、地震調査委員会 による長期評価においても真っ先に成果 が公表された場所でもある。しかし、今 回の東北地方太平洋沖地震は、通常のサ イクルではなく、400年以上(地震本部 では600年、津波堆積物評価によると約 1000年)のスーパーサイクルで発生した ものと解釈される。

大震災で津波を発生させた巨大地震の 震源は宮城県沖であり、以前から予測・ 評価されていた所謂「宮城県沖地震」域 の少し沖であった。発生場所および時期 については長期評価などで予測されたも のであったが、その規模は全く異なっ ていた。主な断層活動の範囲は南北約 500km東西約200kmに至り、すべり量は 30mを超えたと推定され、この運動によ る海底変動が海面の変化をもたらし、巨 大な津波が発生した。しかも、単一では なく、時間を変え段階的に発生したと解 析され、複雑な様相を呈していた。過去、 この地域は、三陸沖、宮城県沖、福島県 沖、海溝沿い、など個別地域で地震およ び津波それぞれ評価されていたが、今回、 一気に連動し超巨大地震・津波が発生し たことになる。図-1に示されたように、 M9地震によって発生した津波は巨大で あり、500km×200km以上の範囲で地震 による海底変動がある時間帯で持ち上げ られた膨大な水塊は、波紋となって各地 へ伝播した。その結果、500kmを上回る 浸水域が生じ、これは初期の津波に対し て約1割の水塊が沿岸部を襲ったことに なる。

現在まで、地震および津波の発生を再 現するモデルを、様々な観測値を使って 検討されている。測地(地殻変動)デー タ、地震波観測データ、津波観測データ (沖側と沿岸部、痕跡値)、被害データな どに分類される(地震調査研究推進本部, 2012)。現在までの解析結果を見ると、 一般的傾向としては2つあり、(1)地震 モデルよりも津波モデルの方が発生範囲 は広い、また、(2)津波の大すべり域が より海溝に近い、(3) 宮古より北側では 局所的な津波増幅があり、津波地震や地 滑りなどの特殊な発生メカニズムも指摘 されている(今村, 2015)。

2. 観測・調査された津波像

2.1 観測された津波発生の様子

各地で津波が観測されてたが、海域で 5m程度(釜石海底津波計やGPS波浪 計)、沿岸で10m以上の規模が記録され ている。図-2aに示されたように釜石沖 での海底津波計の記録は興味深く、30分 程度の押し波の成分(2m程度)の上に、 5分程度の短い成分(3m程度)が重なっ た波形(2つの段階)が見られる。これ は、海溝沿いでの大きな滑り量を起こし ており、津波地震タイプまたは副次的な 断層(分岐断層)が高角度で発生した可 能性がある。なお、第一段階がこの前に 発生したもので比較的広域ですべり量は



図-1 三陸沖での過去の波源域と2011東日本大震災で の波源域(赤点線)(Hatori,1987)

小さい。これらの2つの成分(または複数)が、三陸沖に伝播する中で、押しの ピーク(波の山)を一致(位相)させて、 来襲した可能性もある。

同様に、海底津波計(図-2a参照)に 加えて図-2bに示されたGPS波浪計に よる記録でも確認できる。岩手県北部か ら福島県沖に設置された6つのGPS 波浪 計は、2段階の津波の発生を捉えていた。 地震発生から10分後にはゆっくりとした 海面の上昇がみられ、そのさらに約10分 後には急激な水位上昇が生じており、こ こでも2段階の津波が来襲したことが分 かる。第1段階の津波は、1m程度の波 高で周期が1時間程度(長周期成分)で あると推定されるが、第2段階の津波 は、波高にして3m以上、周期が10分 以下(短周期成分)であると読み取れる。 岩手沿岸では、このように、2段階の成 分が明瞭に見られるが、宮城県北部では 変化している。多段階でしかも時間差を 伴った発生により、場所によって位相差 が生まれたものと考えられる。

このような津波の発生メカニズムについては、現在様々な解析がなされ、議論 されているところであるが、もっとも重 要であることが、海溝沿いの幅の狭い範





図-2a 海底津波計(TM2)で観測された津波波形(東大 と東北大の観測によるもの)。



(河合ら, 2011)。

囲で急激な海面上昇があったことであ る。これは超大すべり域と呼ばれており、 この原因としては広く考えると、津波地 震タイプ、海底地滑り、さらには副次的 な断層(分岐断層)が高角度で発生した 可能性などがある。とくに段階的発生ま たは移動メカニズムとして注目されてい るのが、ダイナミックオーバーシュート (動的過剰すべり)と呼ばれる現象であ る(Ide et al., 2011)。このすべりは地震 以前に蓄えられていた力を100%解放す るだけでなく、さらに「すべり過ぎる」 状況ですべったために、大きな津波を引 き起こしたのだと考えられている。

2.2 津波高(遡上高および浸水高)の分布 大震災の発生後に、関係の専門家やエンジニアが東北地方太平洋沖地震津波合 同調査グループを立ち上げ、東北地方を

中心に北海道から九州に至る全国で津波 調査を実施し、津波痕跡などの測定を 行った(東北地方太平洋沖地震津波合同 調査グループ,2012)。最終的には、合計 48研究機関、計148名もの研究者が参加 した大規模な津波調査となった。さらに、 5月以降には気象庁、国土交通省東北地 方整備局、青森県・県土整備部、岩手 県・県土整備部、宮城県・土木部、福島 県・土木部より痕跡データの提供をいた だき、日本における津波痕跡データをほ ぼカバーしている。2011年7月初旬まで に測量されたデータは合計5.000点を超 え、世界的に見ても非常に大規模かつ空 間的に高密度な津波痕跡高データセット が得られた。各調査班のデータは、事務 局でスクリーニングを掛け、測量方法に 応じて潮位および標高等の補正を行い統 ーデータセットの作成を行った。潮位補 正においては、三陸付近の潮位観測デー タ(津波により潮位計などが破壊)が不 足していることに加えて、データ数が膨 大であるため、数値シミュレーションを 併用して、最大波到達時間の推定を行い、 国立天文台の天文潮位データベースを用 いて補正を行なっている。

図-3に3次元的な分布のイメージを、 図-4には痕跡高(浸水高;赤色丸印、 および遡上高;青色三角印)の分布を緯 度方向に投影した結果を示す。三陸沖を 中心に、痕跡高が20mを超える地域が南 北に約290km以上に渡り、宮古市や女 川町付近で30mを超える地域も広範囲に 及んでいる。この地域では浸水高より遡 上高が大きく、内陸に遡上していく過程 で増幅が見られたことを示している。青 森県から茨城県に渡る広域なエリアで は、痕跡高が10mを超えており約425km になる。この距離は、今回の震源域の南 北方向の長さに匹敵する。この地域で は、浸水高と遡上高がほぼ同じ程度で分 布しており、海域からの津波高さが同じ レベルで内陸に浸水していったことを示

Special Contribute



図-3 調査で得られた津波高(暖色;浸水高、寒色;遡上高) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ



図-4 調査で得られた津波高の緯度方向に投影した結果 (浸水高:赤色丸印、遡上高:青色三角印) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ



東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ https://coastal.jp/ttjt/index.php?plugin=a ttach&refer=FrontPage&openfile=survey_ historical.jpg 唆する。なお今回の津波の遡上高さとし ては、最高40.4mが記録されている(森, 2012)。

図-5には、明治三陸津波および昭和 三陸津波の津波高さ(遡上と浸水を含む) を重ねて示している。今次津波は過去の 2事例の津波規模(高さおよび範囲)を 大きく上回るものであり、数値的に見て も今回の津波災害の甚大さが理解でき る。地域毎に見ると痕跡高の分布につい て大きく異なる様相が見ることが出来る。

3. 津波波源モデルの推定

3.1 逆解析による波源モデルの検討

現在、地震動や地殻変動のデータだけ ではなく津波波形を利用した断層運動の 推定が行われているが、特徴としては図 -6に示されたように、(1)段階的に各 セグメント(断層)で破壊が生じたこと、 (2)震源付近で初期の津波が発生しその 後海溝沿いに移動していること、(3)宮 城・福島沖での海底変化(断層のすべり 量)が大きいこと、しかも、(4)日本海 溝沿いの値が大きいことが示唆されてい る。深い海域で大きな海底変化が生じる と、それだけ大きな規模の津波が発生す る事になる。

図-7は、津波痕跡データも取り入れ た非線形の逆解析モデルである(根本ら,

図-6 2011年東北地方太平洋沖地震の津波断層モデル の例(根本ら, 2019)

図-7 非線形インバージョンによる推定された津波波源 モデル(最終変位量と30秒ごとの時間変位量)(根 本ら,2019)

2019)。2011年東北地方太平洋沖地震の 津波断層モデルとしては、これまでに多 くのモデルが提案されている。しかし、 これらのモデルでは一部の観測データは 説明出来るものの、GNSSの観測データ や沿岸の津波痕跡高分布を含めて総合的 に評価されていない。沖合津波波形、陸 域・海域測地データ、津波痕跡高データ およびGNSSデータを用いて、これらの データを説明する津波断層モデルを線形 と非線型のインバージョン解析により構 築している。解析の結果、地震発生から 約1分後に宮城県沖で主要な断層すべり が生じるとともに岩手県沖の海溝軸に 沿って地震発生から4分後までゆっくり としたすべりが継続する断層モデルが推 定された。

3.2 波源モデルの特性化-将来の予測に向けて

今後、巨大地震の際に、このような超 大すべり域が常に伴うのか?その場所は どこなのか?全体の滑り量(背景領域) に対してどのくらい大きいのか?などの 議論が活発に行われている。例えば、中 央防災会議の評価においても、地震規模 の大きな場合に、超大すべり(4倍のす べり量)と大すべり(2倍)を背景領域 の20%の領域に設定している。将来予測 のための津波想定に活用するためには既 往最大規模を基本とする本来の津波想定 とは異なる概念を用いて、プレート間地 震による津波の波源域やすべり分布等の 設定方法をルール化し、そこでの特性は 保ちながらもある程度シンプル化する波 源モデルが必要である。これは「特性化 」と呼ばれており、東日本大震災におけ る評価の問題点(既往最大を中心)を解 決し、不確定性も考慮しながら幅広く検 討でき、確率的評価にも応用できる利点 がある。

現在、プレート間地震による津波の特 性化波源モデルの構築が現在図られてい

図-8 津波波源の特性化について(杉野ら,2014)

る(杉野ら, 2013, 2014; 文科省地震調査 委員会津波評価部会, 2015)。特性化波源 断層モデルの設定では、断層全体の形状 や規模を示す巨視的波源断層特性および 波源断層の不均質性を示す微視的波源断 層特性という2つの波源断層特性を考慮 して波源断層特性パラメータを与えるこ とになる。図-8に示したように大すべ り・超大すべりの配置(位置)については、 プレート構造などを考慮して、可能な範 囲で選択する。複数のケースを仮定すれ ば、確率的な津波高さの評価が実施可能 となる。過去の地震津波を対象(再現) とする場合には、この複数のモデル中で 再現性の高いことが保証されれば良い。

4. 沿岸域への津波の来襲と被害

4.1 津波の沿岸域への来襲

図-9には伝播の様子をCG化して示 し、津波は深海から浅海を経由して沿岸 域に達していることが分かる。三陸沖合 で発生した津波は約20-30分で沿岸に到 達している。特に、複雑な海岸線形状を 持つ三陸沿岸では、津波の波高増幅が見 られた。一方、仙台湾、福島沿岸では直 線状海岸であり、石巻や東松島などは牡 鹿半島の背後に位置していたため自然の 堤防機能により、過去には大きな津波増 幅は見られなかった。しかし、2011年の 場合には、波源域が宮城県沖・福島県沖 さらには茨城県沖まで拡大したために、 直接、巨大な津波が沿岸域を襲ったこと になる。

さらに、そこで発生した津波が海水面 より津波の水位が上昇するとそれが押し 波となって陸上または河川を遡上する。

図-9 津波の伝播過程の様子

浅海域になるにつれ津波の伝播速度は遅 くなり、水粒子速度に近づく。水粒子速 度が伝播速度を超えると津波自体は砕波 に至る。砕波後も津波はボア状段波とな り伝播又は遡上を続ける。砕波直前では、 波形勾配が急になるため、非線形分散効 果により短周期成分が主峰の後方に形成 されることが多い。特に、仙台湾では、 波状性段波が観測されている。やがて、 陸上部または河川部での底面摩擦や構造 物などにより津波のエネルギー減衰が生 じて遡上が終わり、その後、逆に海域へ 「戻り流れ」となって逆流する。陸上部 での地形勾配が大きいと、重力の斜面分 力も加わり戻り流れは加速されて、大き な流速が生じ海岸線などで浸食などが見 られる。戻り流れにおいて流速が加速さ れると常流から射流になり、一段と水位 が低下しせん断力を増加させる。各地で、 強烈な戻り流れが記録されていた。

4.2 沿岸域での被害像

今回の津波規模はまだ不明な点が多い が、我が国での史上最大の規模であり、 これに伴う災害は最悪となると思われ る。津波の浸水に伴う、沿岸構造物、防 潮林、家屋・建物、インフラへの被害、 浸食・堆積による地形変化、破壊された 瓦礫、沖合での養殖筏、船舶などの漂流、 さらには、可燃物の流出と火災、道路・ 鉄道(車両も含む)など交通網への被害、 原子力・火力発電所など施設への影響な ど、現在想定される津波被害のほぼすべ てのパターンが発生したと考えられる。 特に、沿岸での防潮堤などを始めとした 保全施設が整備されている。各地域で整 備水準が異なるところであるが、どのよ うに津波に対して被害軽減の役割を果た したのか評価しなければならない。また、 堅固な施設でも被害を受けた事例があっ た。津波来襲後のどの時間帯でどのよう に被災したのか、詳細な検討を行う必要 がある。

同じ浸水域内でも、建物や社会基盤に 対する被害程度は異なる。ある程度の浸 水深(または流体力)を超えると被害が 増加している。国交省住宅局や東北大学 (越村俊一教授、中央防災会議専門調査 会資料堤出)によれば、浸水深2m前後 で被災率が大きく変化する。この結果は、 今後、地域の住宅や様々な建物・社会イ ンフラを再建するときに、考慮しなけれ ばならない指標である。

この津波による影響は、従来から地震 が多くリアス式海岸など複雑な形状地形 を持ち、津波被害の大きかった三陸海岸 地方(大船渡・陸前高田・気仙沼・女川) に加えて、過去においては、砂浜などの 海岸線が直線状であり、津波による大き な被害を受けていなかった地域である仙 台湾周辺(石巻、東松島、仙台、名取) や福島沖福島沿岸なども含まれた。大規 模浸水、沿岸構造物や建物などの被害メ カニズム、漂流物(瓦礫、船舶、車両、

写真-1 気仙沼市での漂流物・火災による被害(著者撮影)

写真-2 女川町でのコンクリート建物被害(著者撮影)

写真-3 仙台市での荒浜小学校周辺の様子(著者撮影)

写真-4 南三陸町での沿岸での土砂移動(主に浸食) (著者撮影)

写真-5 名取市での防潮林被害(著者撮影)

タンクなど)による被害の拡大プロセス、 大規模火災の発生原因などがある、広い 範囲に様々な被害が生じた。仙台市沿岸 部では、伊達政宗の時代から植林されて きた防潮林が整備され、津波の被害低減 の効果が期待されたが、今回の津波の破 壊力は大きく、ほとんどの場所で根こそ ぎに流されるなど大被害を受けた。

4.3 沿岸地形の変化と回復(浸食と堆積)

地殻変動以外(地殻変動による沈降域 での地盤の隆起)にも津波来襲の土砂移 動による沿岸地形の変形とその回復が重 要となっていた。地殻変動とは違う時空 間のスケールで変化し、非常に地域性が 高いことが特徴である。東日本大震災直 後には航空レーザ測量データ等のリモー トセンシングデータを用いて津波による 沿岸域での地形変化が測定された。沿岸 域を襲った甚大な津波の掃流力により、 海域での土砂が移動し、陸上に遡上し堆 積またはさらに浸食し広域で大規模な変 化が生じた。特に、岩手県陸前高田市高 田松原では、砂浜の大部分が消失し大量 の土砂が海域へ流出した。このため、高 田松原一帯の地形変化量は、1.9×10⁶m に及んだ(加藤ら, 2012)。当時の津波 による地盤の浸食は、陸域に流入する水 量を増加させるため、従来の土砂移動を 考慮しない解析より陸域における遡上過 程を早める効果を有することがわかっ た(山下ら,2015)。また、2011年東北津 波の第一波目の来襲により高田松原は消 失し、特に、引き波時の強い戻り流れに より顕著に浸食されたことが示されてい る。地形条件として復興計画の原点が震 災前と大きく異なる中での検討になり、 陸域に打ち上げられた大量の土砂は復旧 作業に弊害をもたらした。

地形が大きく変わることが人間生活だ けでなく生態系にも大きく影響を与え た。津波来襲時の破壊だけでなく、その 後の生息状況の変化により多大な影響を

Special Contribute

(a) 2010年7月23日 (震災前) における陸前高田市の衛星写真

(b) 加藤らにより測定された地形の変化 (赤が堆積、青が浸食)

(c)数値解析により再現された地形の変化 図-10 巨大津波による土砂移動と地形変化(山下ら, 2015)

与えていた。例えば、浸食や地盤沈下等 により塩分濃度上昇し、砂嘴(さし)が 消失、海と連続性高まり、河口干潟が壊 滅的な影響があり、水際のヨシ等抽水植 物帯が消失したことが報告されている。 その後、津波により大きく変化した地形 も、波浪により回復されつつある海岸も あり、気象条件に加えて、移動した土砂 の位置との関係で千差万別な状況が続い ている。

4.4 津波被害の整理と複合災害

自然力が人間・社会に対する直接の外 力として作用し、社会の側の抵抗力・対 応力を上回ると人的・物的被害が生じ、 この一次的破壊被害がさらに波及・拡大 してさまざまな社会的・経済的影響が 生じ二次・三次的被害が生まれる。東日 本大震災での被害状況等(消防庁発表, 2018年10月時点)を以下の数字に示す が、ここに現れない様々な被害や影響が ある。

人的被害	死者	19,630名
	行方不明	2,569名
	負傷者	6,230名
建築物被害	全壊	121,781戸
	半壊	280,962戸
	一部破損	744,530戸

このような災害(被害)は、誘因が素 因に作用することによって生じる。誘因 とは災害(被害;ダメージやディザス ター)を引き起こす自然力(ハザード)を、 素因には地形・地盤条件など地球表面の 性質にかかわる自然素因と、人口・建物・ 施設など人間・社会にかかわる社会的素 因とに分類される。表-1には、東日本 大震災で直接被害として整理した津波災 害の要因(誘因と素因)をした。これら の要因の組み合わせと相互作用により、 1つ(主な)の自然災害においても多数 の災害像が見られる。主に津波の場合に は、浸水・冠水、流れ、波力の3つに誘 因が分類され、素因としては、海底に加 えて陸上も含み沿岸地形、土地利用形態、 防護施設などがある。

津波の水理特性としては、浸水、流速 (掃流力)、波力(静水圧力、動波力、衝 撃波力)などがあり、これらを素因とし

表-1 津波被害の素因・誘因、影響・被害

ス 「 岸版版合の米凶 助凶、影告 版合					
	誘因	素因	影響事例	被害事例	
	浸水·冠水	沿岸地形、防 護レベル、避 難意識、可燃 物、土地利用 形態	海水植物枯、 火災の発生 (電線・バッ テリーなどに よる発火)	農業被害、人 的被害(主に 溺死)、津波 火災、	
	流れ・流速 (掃流力)	沿岸地形、土 砂・堆積物、 漂流物、イン フラ、土地利 用形態	建物 ・構造物 への浸水 ・冠 水、浸食 ・堆 積	家屋・施設被 害、インフラ 被害、電気 に、環境・生 態破壊	
	波力 (撃波力)	沿岸地形、建 物・構造物、 インフラ	物 ・ 構造物 (特に、 防波 堤や 防潮など の 防護) 破壊	家屋・施設被 害、インフラ 被害	

て被害が生じている。津波に関する3つ のタイプの素因により主に被害は整理さ れ、周辺での誘因により拡大化される。 なお、地形変化(堆積・浸食)、漂流物、 火災などの有無や分布状況により、どの ような影響が生まれ、どのような被害に なるのかは大きく変化するため、推定す ることは大変難しいが、東日本大震災で 記録された津波被害の定量的な評価が 進んでいる (Charvet et al., 2014: Panon et al., 2014; Muhari et al., 2015)。 今後、 表-1を精査するとともに、各被害のフ ラジリティー(関数)などを評価し、被 害の定量的推定を行う必要があり、地震 動、液状化、津波、火災など一連の複合 的な被害の予測の第一段階につながると 期待される。

東日本大震災においては、強震動、液 状化、地滑り、その後、津波の浸水・冠 水が発生し、沿岸構造物、防潮林、家 屋・建物、インフラへの破壊、浸食・堆 積による地形変化、破壊し移動された瓦 礫、沖合での養殖筏、船舶などの漂流、 さらには、可燃物の流出と火災(今津ら, 2014)、道路・鉄道(車両も含む)など 交通網への被害、原子力・火力発電所な ど施設への影響など、現在想定される複 合的な津波被害のほとんどのパターンが 発生したと考えられる。

特に、重要であると考えているのが、 強震の後、建物耐力が低下する、または 液状化などにより基礎の支持力が低下す るなど中で、津波来襲(浸水、流れ、波 力)沿岸構造物や建物などの被害メカニ ズムになる。さらに、船舶、車両、タン クなどに加えて、破壊された建物や構造 物の一部が漂流物による被害の拡大プロ セスがある。さらに、浸水・冠水などに よる火災の発生と瓦礫や可燃物などと関 係し火災大規模化生などが重要となる (Suppasri et al., 2013)。

その結果、同じような地形であり津波 の浸水域内でも、建物や社会基盤に対す る被害程度は異なっていた。無論、浸水 深(または流体力)を超えると被害が増 加する傾向はあった。国交省住宅局や東 北大学(中央防災会議専門調査会資料堤 出,2011)によれば、浸水深2m前後で 被災率が大きく変化する。この結果は、 今後、地域の住宅や様々な建物・社会イ ンフラを再建するときに、考慮しなけれ ばならない指標である。複合的災害とし て全体を捉えて行かなければ、今後の予 測、評価、対策に活かせないと考える(今 井ら,2014)。

5. 沿岸域での被害像と予測に向けて

東北地方太平洋沿岸では、防潮堤など を始めとした保全施設が整備されてい る。過去の津波(明治や昭和三陸津波) の際にはなかった沿岸施設であり、津波 の陸上への影響を抑えた効果はあったは ずである。しかし、その施設を遥かに上 回る規模で来襲したり、この施設を破壊 してしまった地域もあった。その整備水 準は各地域で整備水準が異なるところで あり、それらがどのように津波に対して 被害軽減にどのような役割を果たしたの か評価しなければならない。また、堅固 な施設でも被害を受けた事例があったこ とから、これらが。津波来襲後のどの時 間帯でどのように被災したのか、詳細な 検討を行う必要がある。

本文では、当時の記録や現在まで解析 された成果をもとに、巨大津波の研究に ついての概要と今後の課題の整理を試み た。特に、様々なデータの利用により各 断層が推定されているが、対象とするも のや手法によって結果が若干異なる。将 来の予測を統一的に実施するためには、 解決すべき課題となる。津波においても モデルの特性化の検討が進んでおり、確 率的評価の第一歩となる。津波災害の予 測については、定量化に向けて多くの研 究がなされているが、それぞれの相互作 用や複合化については課題が残る。しか

Special Contribute

し、今回得られた知見や成果により、従 来のハザードマップ情報以上のものが提 供でき、正しく津波像を理解いただく一 助となることを期待している。

参考文献;

- 今井健太郎ら(2014),人的・物的被害軽減に向け た実用的な津波ハザード・被害予測評価手法の 提案,自然災害科学,vol.33,特別号,pp.1-12
- 今津雄吾ら(2014),東日本大震災で発生した津波 火災における地形的影響の考察と津波火災危険 度評価指標の提案,自然災害科学,vol.33, No.2, pp.127-144
- 今村文彦(2015),東北地方太平洋沖地震による巨 大津波のメカニズムと被害予測,地震ジャーナ ル,地震予知振興会,No.60,12月,pp.16-23.
- 加藤史訓ら(2012), 津波による地形変化に関す る現地調査, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.68, No.2, I_174-I_179
- 河合弘泰ら(2011),GPS波浪計で捉えた平成23年
 東北地方太平洋沖地震津波,土木学会論文集B2
 (海岸工学),Vol.67,No.2,I_1291-I_1295
- 港湾空港技術研究所 (2011), GPS 波浪計による津 波の観測結果 http://www.pari.go.jp/files/items/3527/File/

results.pdf

- 地震調査研究推進本部(2012):「三陸沖から房総 沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)に ついて」, https://www.jishin.go.jp/evaluation/ long_term_evaluation/subduction_fault/(参照 2018-6-1)。
- 地震調査研究推進本部津波評価部会(2015),波源断 層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ), https://www.jishin.go.jp/main/tsunami/17jan_ tsunami-recipe.pdf
- 杉野英治ら (2013), 原子力サイト における 2011 東北地震津波の検証, 日本地震工学論文集, 第 13巻, 第2号 (特集号), pp.2-21
- 杉野英治ら (2014), プレート間地震による津波の 特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文 集, 14 (5), 5_1-5_18
- 根本信ら(2019),2011年東北地方太平洋沖震の津 波断層モデルの再検討-津波関連観測データを フル活用した推定-,日本地震工学会論文集第 19巻,第2号,2019,
- 森信人(2011), 津波合同調査の全体概要とその解 析結果, 東北地方太平洋沖地震津波に関する合 同調査報告会予稿集, pp.1-6

https://coastal.jp/files/ttjtreport_20110716.pdf

山下啓ら(2015), 岩手県陸前高田市における2011 年東北地方太平洋沖地震津波による大規模土砂 移動の再現計算,土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_499 - I_504

- Charvet, I et al. (2014), Empirical fragility analysis of building damage caused by the 2011 Great East Japan tsunami in Ishinomaki city using ordinal regression, and influence of key geographical features, STOCHASTIC ENVIRONMENTAL RESEARCH AND RISK ASSESSMENT, vol.28, pp.1853-1867
- Hatori,T. (1987), Distributions of Seismic Intensity and Tsunami of the 1793 Miyagi Oki Earthquake, Northeastern Japan, Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 62, 297-309.
- Ide, S. et al. (2011), Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthqua, Science, 332, 1426-1429
- Muhari A.,et al. (2015), Assessment of tsunami hazards in ports and their impact on marine vessels derived from tsunami models and the observed damage data, Natural hazards, DOI 10.1007/s11069-015-1772-0
- Panon L., et al. (2014), MECHANISM AND STABILITY ANALYSIS OF OVERTURNED BUILDINGS BY THE 2011 GREAT EAST EARTHQUAKE AND TSUNAMI IN ONAGAWA TOWN, OS13-Thu-AM-6, the 14th Japan Earthquake Engineering Symposium
- Suppasri A., et al. (2013), Lesson learned from the 2011 great east Japan tsunami: performance and damage mechanism of tsunami countermeasure and residential structures, Pure and Applied Geophysics, 170 (6-8), 993-1018.doi: 10.1007/ s00024-012-0511-7