2011年東北地方太平洋沖地震による茨城県北部の津波

Tsunami Disaster in North Part of Ibaraki Prefecture due to the 2011 Tohoku Pacific Ocean Earthquake

信岡尚道¹・鶴崎賢一²・松浦健郎³・鍋谷泰紀⁴

Hisamichi NOBUOKA, Kenichi UZAKI, Takeo MATSUURA and Yasunori NABETANI

The tsunami by the 2011 Tohoku Pacific Ocean Earthquake attacked northern-east coasts of Japan. The main purpose of this paper is to record distribution of inundation heights and run-up heights for improving disaster preventions along north part of Ibaraki prefecture coast, where no accurate records of big tsunami had kept. Water-trace marks and levels shown by witnesses were searched and those heights were measured. There are varieties of results of inundation heights and run up heights along coasts, which means that the tsunami traveled along coast complexly. Though those heights were comparatively good agreements with the information in hazard map provided by local government, the results of inundation area inform that a method to calculate run up of tsunami on land should be modified.

1. はじめに

茨城県沿岸で陸上に浸水するような大きな津波災害として記録に残っていたものは、1677年延宝地震津波と、1960年チリ沖地震津波のみとわずかであった（例えば、水戸地方気象台, 1996; 信岡ら, 2006）。最近では、地質調査（例えば、産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, 2011）により、貞観地震津波（889年）や13世紀から15世紀頃の津波が茨城にも浸水を引き起こした可能性が出てきていたが、まだ研究調査の段階であった。そのような中、茨城県は2007年には津波浸水想定区域図を作製している。想定津波には、過去最大のものとして茨城県内で2地点のみ浸水高が推定されている房総東方沖が震源の延宝地震津波と、茨城での観測記録は無いが周期性のある地震による比較的大きな津波として明治三陸タイプ地震津波を適用していた。このように1960年チリ沖地震津波を除き、津波浸水の十分な記録が無い状態で津波防災を進めていたところであった。

本論文では、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震により茨城県に來襲した津波について、陸上被害が大きかった県北端の北茨城市から県央の大洗町までの津波痕跡調査と陸上浸水の特徴を示す。また、これらの結果に避難に関するヒアリング調査結果もあわせて今後の津波防災の課題をまとめる。

表-1 調査日（2011年）

項目	日付	備考
浸水地区 事前調査	3/14, 15, 16, 18	大洗町, ひたちなか市那珂湊町, 日立市河原子町・水木町・会瀬町・久慈町
浸水地区 調査	3/20~22, 24, 25 4/2	北茨城市, 日立市, ひたちなか市那珂湊町, 大洗町
追加事前 調査	4/5~8 4/18~20	上記に, 高萩市, 東海村
追加調査	4/13~15 4/21~22	同上

2. 津波調査の内容と方法

対象地域は北茨城市, 高萩市, 日立市, 東海村, ひたちなか市, 大洗町（図-1参照）である。痕跡調査地点は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査が未調査の地点を基本とした。調査を実施した期間は表-1のとおりである。

各浸水域の代表痕跡点で、海水面からのレベル測量と一部RTK-GPS測量から浸水高を測定した。浸水高の基本的な決定方法として、痕跡とともに住民の帰宅時の浸水形跡の証言を重視して、両者がほぼ一致する最高の痕跡を対象とした。この理由は明瞭な水痕跡線より高いところにある不明瞭な水痕跡線と住民の帰宅時の浸水形跡が一致する箇所が多々あったためである。レベル測量による潮位補正および津波來襲時の天文潮には茨城港大洗港区の推算値を用いた。また、大洗町, ひたちなか市那珂湊町などにおいて、住民の帰宅時証言と津波痕跡をもとに浸水境界を調べた。浸水高が異なった日立市の河原子漁港海岸から水木漁港海岸においては、浸水高を沿岸方向に細かに測量することで、今回の津波の特徴の一端を明らかにできるように努めた。得られた痕跡高と浸水範

1 正会員 博(工) 茨城大学工学部都市システム工学科
2 正会員 博(工) 群馬大学大学院工学研究科
3 茨城県高萩工事事務所
4 学生会員 茨城大学大学院理工学研究科

図-1 茨城県北部の津波痕跡高と津波高比較

囲を，延宝地震津波の推定値や想定遡上高，津波浸水想定区域（茨城県）と比較した。また痕跡証言を収集するときに，得られた住民の避難状況をもとに，茨城県の津波防災の課題についてもまとめた。

3. 茨城県北部の痕跡高

遡上高と浸水高で区別した痕跡高を図-1に示す。茨城港大洗港区内の水際線すぐの二つの倉庫で2点ずつ痕跡高を調査した平均は4.80mとなり，同港区内観測記録の最大波4.0m（気象庁，2011）より0.8mほど高い結果となった。風波の影響が無い海面高からのレベル調査では理想的状況であったが，港内の埠頭など地形の影響や陸上部に遡上して建築物の間を流れていく過程での痕跡によりこの差が生じたと考えれば，測定方法にある程度の信頼性は保てていると言える。

北茨城市から大洗町で確認できた最高遡上高は9mを越え，局所的であるが浸水高も最高で7mを越えている。北から南に詳細を見ていく。北茨城市で9.5mの最大遡上高となっているのは，同市内の五浦岬の北側にある長浜海岸の記録である。ここは崖の合間のポケットビーチかつ崖までの地盤に適度な傾斜があるところである。この海岸の隣で茨城県北端の同市平潟町東では7.1mの浸水高であった。五浦岬の南にある北茨城市大津町から，南下して高萩市を越え日立市北部の伊師海岸・鵜ノ岬までの区間では，最大で6m前後の高さとなっている。鵜ノ岬の南にある日立市川尻町からの同市河原子町の港湾まで

は，高さが5m未満と低くなっている。河原子港の南側から水木漁港海岸まで，および茨城港日立港区をまたいで東海村では痕跡高が再び高くなり，浸水高で6m越え，遡上高で8m近くになる地点もあった。茨城港常陸那珂港区から那珂川河口の那珂湊漁港までの区間では，著者らの痕跡高の調査地点では4mまで到達しない低い高さとなっている。また茨城港大洗港周辺では5m前後の高さであった。

海水の最高到達高でみると，北茨城市の茨城大学五浦美術文化研究所では10.7mの高さまで海水が到達したとの記録（茨城大学東日本大震災調査団，2011）や，日立市川尻からの同市河原子町の港湾までの高さが5m未満区間においても，日高漁港では「1波だけ堤防（高さ5m程度）を越えた」，会瀬漁港付近では「2Fまで海水が来た（高さ6m程度），灯台の中程まで海水で隠れた」などの証言がある。調査時の痕跡高の未確認以外に痕跡とはならない，海水の跳ね上がりや構造物での反射による重複などによる最高到達高があることに留意する必要がある。

また，図-1には示していない東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ（2011）の結果で，茨城港常陸那珂港区から那珂川河口まで痕跡高4m未満が続いた区間の中においても，磯崎漁港海岸では高さ7mほどの道路まで海水が到達したとの結果があり，著者の一人も津波から1ヶ月以上過ぎた4月20日ではあるが，同高さまで礫の遡上（津波によると住民証言）や道路の陸側背後まで津波の痕跡と思われるものを確認している。また，同グ

ループの報告で大洗港海岸磯浜地区でも6mを越える痕跡高の結果が得られている。大洗サンビーチの南では図-1でも高くなる傾向が見られるが、同グループの報告ではさらに高くなっている。

竹内ら(2007)の研究では、1677年の延宝地震津波の推定浸水高は大洗で5.5~6.0m(以上)、那珂湊では4.5~5.5mとなっている。推定の中の上端値を図-1に延宝津波(推定)として示している。この津波の波源は房総半島東方沖合であり、今回の津波と同一に考えることには無理があるが、最大の津波で言うならば、両地点での浸水高は1677年の延宝地震津波の方が高かったことになる。延宝地震津波を数値計算で再現し得られた最大遡上高が、茨城県の津波浸水想定区域図内に示されている。その値から天文潮を除いたものも図-1に示している。実際の痕跡調査では最大値を発見できないこともあり数値計算の方が高い値を示す傾向があるが、場所によっては今回の最大遡上高と同等の所もある。想定波源とは異なるにせよ、最大遡上高については想定範囲に収まったと言える。

4. 茨城県北部の市町村別浸水状況

(1) 北茨城市

北茨城市平潟町東地区(図-2)では津波による犠牲者が2名であったが、ここでは浸水高が7.2mと高い。平潟漁港の背後では浸水高は3.6mであり、数100m程の空間で大きく異なった。南側の高い崖にあたり北向きに流れ落ち込んできたとの証言もあり、家屋の崩壊の分布もこの流れに追随していた。その他の得られた証言では、「1波目の10数分後に2波目が来て家屋が倒壊した」、「3波目以降も大きな津波が来た」などがあり、「2波目の津波は平潟漁港の方へ陸上を伝って流れ込んでいった」を示す写真も残っている。平潟町東より南に、通称長浜海岸と呼ばれるポケットビーチがあり、ビーチ背後は急こう配で地盤高が高くなる。この勾配を津波が駆け上がり遡上高が9mを超えたところもあったが、そこでは浸水深が1m未満であり被害は床上浸水で留まっていた。さらに南下したところでは標高が4~5m程度と低く、家屋や公共施設に大きな被害が出ていた。

大津漁港やその背後では、周辺の平潟漁港海岸や神岡下海岸の記録と比べると低い、5m程度の痕跡高であった。平潟漁港とともに北茨城市の中では痕跡高が低い地域であり、漁港の沖防波堤で守られたと考えられる(この現象を示していた1つに、この沖防波堤の一部や防波堤の一部は倒壊していた)。しかし大津漁港内と後背地は地盤高が低く、高潮時でも水があがりやすい場所であり、今回の津波で全壊した家屋もあった。

磯原海岸の北部では津波が護岸を越えて浸水し、家屋

図-2 北茨城市平潟の痕跡高と津波の来襲向き

の損壊と床上浸水を引き起こしていた。南部の大北川沿いでは河口部の高潮対策用と洪水用の堤防が倒壊していた。河川部から浸入した水塊は低地部でJR常磐線をも越えるほどで、前面の家屋に大きな損傷が生じた。

北茨城市の南部にあたる下桜井海岸は高潮対策護岸、足洗海岸と小野矢指海岸は人工砂丘と保安林や海岸林、または護岸によりほとんどの範囲は防御されていた。ただし河川や水路の部分からは津波が陸上に浸入していた。

(2) 高萩市

高萩市における津波がある程度の規模で浸入した箇所は赤浜海岸の水路、関根川と花貫川からであった。海岸から津波が越えたのは崖に囲まれ人工リーフで高潮対策をしている高戸海岸と、旧マリーナ建設予定地のみであった。住宅が海岸に接近している有明海岸と高浜海岸は、高潮対策用の護岸により津波の浸入はほぼ完全に阻止された。有明海岸の痕跡高にはわずかに護岸を越えた跡が背後に残っていたところの護岸天端高を取った。

(3) 日立市

北端の伊師海岸は人工砂丘と保安林および海岸林が広がっており、ほぼ全域で人工砂丘の頂部手前、南部では堤防で津波の遡上が止まっていた。ここから南側は崖の合間や手前に砂浜がある海岸線が南端の茨城港日立港区直前まで続いていく。

川尻港海岸から小木津海岸北部までの地盤高が低いところで浸水被害が見られた。この中には砂浜侵食により必要になった高潮護岸の改築中の区間も含まれている。

これより日立市の中央に位置する会瀬漁港までは、津波高が他の地区に比べ低かったこともあり、また高潮対策の護岸が建設されていることもあり、小河川や水路からの浸水しか確認できなかった。会瀬漁港背後で1960年チリ津波では玄関の手前ギリギリのところで浸水が止まった家屋で、今回は浸水深が1mを超えていた。

海水浴場もある河原子港の北側では、遡上高が低く(図-3)、また港湾付近の民間施設は基礎を上げているため浸水被害は小さかった。対照的に同港湾の南側では、浸水高が1m以上も高く、上端に国道が通っている崖の直下まで浸水していた。北茨城市以外の県内で津波による家屋の完全倒壊があった海岸であった。また一部では

図-3 日立市河原子漁港周辺の痕跡図

堤防の倒壊もあった（図中の×記）。

日立市南端の久慈町でも広範囲の浸水があったが、ここは高潮や長周期波が来襲すると茨城県日立港区内に接続する瀬上川から窪地にしばしばあふれるところである。今回の津波では北側では港から浸入した形跡も見られたが、南側の商業施設での浸水深はわずか20cmほどであり、海からの浸水だけでは説明できないものであった。

(4) 東海村・ひたちなか市

東海村では東海原子力発電所区域が未調査であるが、それ以外の海岸部は砂浜や人工砂丘手前で津波は止まっていた。那珂川河口付近で河川堤防と砂浜へのアクセス道路からわずかに浸水、内陸では水路から氾濫の形跡があった。

ひたちなか市阿字ヶ浦海岸は護岸上端手前で津波が止まったとの複数の証言があった。茨城県常陸那珂港区の沖防波堤と磯崎漁港の遮蔽域のために津波高が低かったと考えられる。磯崎漁港海岸では一部区間で崖上端の県道まで津波が駆け上ってきた痕跡があり、地盤高が低い平磯漁港周辺でも浸水の跡が残っていた。

那珂湊漁港・那珂川河口左岸（図-4）では、漁港から浸水していた。南西部で那珂川沿いの海門町では排水路からの越流もあったと考えられる。港背後では津波浸水想定区域（図中の▲記号）は今回の浸水域（同●記号）に比べ若干狭かったただけだが、その狭い範囲に住居・商業施設などが多数存在していた。海門町では両域がほぼ一致していた。

(5) 大洗町

大洗港海岸磯浜地区では海岸沿いの県道に津波が到達した形跡は無く、茨城県大洗港区手前の一部の民間施設の最下階層で浸水があった。大洗港区は港湾施設や併設

図-4 ひたちなか市那珂湊漁港周辺の痕跡図

図-5 大洗町大洗漁港周辺の痕跡図

商業施設で大きな被害があったが、背後の住居地区は床上浸水までの被害、古くからある商業地区のほとんどは浸水からも免れていた（図-5）。大洗港区背後の津波浸水想定区域にはほとんど住居地区手前の県道付近までであったが、今回の浸水域はそれよりも広く浸水深（図中の（D））も1m程度あり、そこに住居・商業施設などが多く存在していた。また大洗町で最大の遡上距離となった地点は、海岸から低地が続く旧河道を通り鹿島臨海鉄道を超え涸沼川に面する船着き場であった。

5. 茨城の経験に基づく津波防災の課題

痕跡確認と同時に行った避難に関するヒアリングによると避難率が非常に高かった。避難率が高かった要因と判断できたことを挙げる。なお、全域ではなくても多くの場所では当てはまったことも含めて書いていく。

- ・初めて体験する大きな地震動から大きな津波が来ると連想できた（大地震動でのリアリティーの構築）
- ・東北地方の具体的な場所で津波によりまちが被災したことを知る余裕があった（携帯電話、ワンセグやラジオなどで、他地区の災害状況からリアリティーの構築）
- ・さほど大きくない、1波目の来襲で津波の来襲を現実として考えた（先行波によるリアリティーの構築）。

- ・被害が出るような大きさの津波が来るまで1時間弱、場所によっては1時間半以上も時間があつた。
- ・被害を出した津波が遡上する際も、それほど急速には水位が上昇しなかった。
- ・2日前と前日の地震では津波警報は出なかった(福島県では両日とも警報が出たことが3月11日の避難率を下げる要因になったことが、ヒアリング調査でわかった)。
- ・また、一部の地区では次のようなことも挙げられた。
- ・消防関係者がいづになく、懸命に避難を呼びかけていた(非常事態を察知してリアリティーを構築)

一方、犠牲者が出た北茨城市平潟での証言では、1波目が3時半ごろに来襲後、貴重品を取りに家に戻った人、周囲の人に避難を呼びかけ続けた人が、10数分後に来襲した2波目で人的被害が出た。この場所では、地震後に早期に逃げる以外、上にあげた要因は当てはめられない状況であつたと考えられる。

茨城県北部の調査から考えだされた、今後の必要な津波防災と減災についてまとめる。なお、ここでは一般的な津波防災や減災対策は省略する。

- ・科学的結論が出る前に、今回の津波がワーストケースと決めないこと。今回の津波では、数百m離れただけで被害が全く異なる場所があつた。今回被害がなかった場所が、安全とは単純に言えない。1677年の延宝津波と同規模の津波が来るだけでも、今回よりも大きな被害が起こる可能性がある。また貞観地震津波など歴史津波の研究結果にも気を付けておくこと。
- ・想定津波を再検討する。それまでは、検討結果が出た後でも、拡張や変更が行いやすいソフト的な防災対策が有益。避難システムの点検から始めるのが良い。
- ・津波の陸上遡上の計算の確認と浸水想定区域の見直し。感度分析などを用いて不確実性を考慮して浸水想定区域の欠落を防ぐ。
- ・無感地震津波(いわゆる「津波地震」)の存在を伝達。延宝地震津波は茨城で地震動の記述が見当たらない(渡辺偉夫, 1998)とされており、無感地震による津波であつた可能性もある。
- ・減災のためには、短時間でリアリティーを構築できるシステムが有効。海洋での津波観測とリアルタイム送信、海洋での陸に向かう津波または陸に遡上する津波の速報・実況。
- ・停電でも利用できる情報収集機器の整備と情報伝達手段の再検討。現代ではラジオにかわり携帯電話が情報収集機器になりつつある。常時身に着けているものを活用した、緊急津波速報は有効と考えられる。
- ・浸水想定区域内の建築基準の見直し。低層住居専用地域の高さの制限と日照権が、希望した地盤の高上げ高の障害となった例がヒアリングで挙がった。防災側からみれば、津波に対して地盤高が不足なのが問題である。

防災や減災には予防も大切である。これから更に進行する少子高齢化社会や過疎化により、避難行動が難しくなっていくと考えるのは自然である。避難場所や避難経路の設置にも非効率なものになるからである。防波堤などの構造物による防災も、同様に経済的効率が低くなる。防災や減災から見れば、浸水想定区域の土地利用規制による集落のコンパクト化、高所移転が最も効率的であるのは間違いない。社会経済活動や文化保護との兼ね合いがあるが、沿岸域管理として土地利用管理の検討を進めることは非常に重要であると考えられる。

6. まとめ

茨城県北部沿岸の痕跡調査より、北茨城市で9.5mの遡上高を含め、痕跡高が沿岸で異なつていたことを示してきた。また日立市河原子町などでは数百mの距離でも痕跡高に大きな差があつた。証言での津波の来襲向きは南からとの回答が多かつた。南から北に向かうエッジ波の可能性もあり、今後、数値計算での再現から、今回の津波の詳細を明らかにすることが必要である。今回の浸水区域は茨城県が作製した津波浸水想定区域と近いものであつたが見直しが必要な点、また今回よりも避難が難しい条件下で避難が実行されるために必要な点を示した。

以上のことが歴史津波を含めた想定津波の再設定、想定津波に対する避難計画の改善に役立つことを期待する。

謝辞: 一部の痕跡高測量には、機材を含め東京大学の佐藤慎司教授とHaijiang LIU博士にご協力頂いた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 茨城県, 茨城県津波浸水想定 <http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class06/tsunami/index.html> 参照2011-05-18.
- 茨城大学東日本大震災調査団 (2011): 東日本大震災調査報告書, 茨城大学, 107p.
- 気象庁 (2011): 平成23年3月地震・火山月報(防災編), 気象庁, 321p.
- 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター (2011): 連動海溝型地震の履歴とメカニズム解明平成22年度報告 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/sonota/attach/1289115.htm 参照2011-05-19.
- 竹内 仁・藤良太郎・三村信男・今村文彦・佐竹健治・都司嘉宣・宝地兼次・松浦健郎 (2007): 延宝房総沖地震津波の千葉県沿岸～福島県沿岸での痕跡高調査, 歴史地震, 22, pp.53-59.
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011): 速報値 <http://www.coastal.jp/tjtf/> 参照2011-05-18.
- 信岡尚道・三村信男・藤巻英明・林佑合子 (2006): 茨城県沿岸の長期の高潮・津波浸水リスク, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1296-1300.
- 水戸地方気象台 (1996): 茨城の気象百年, 337p.
- 渡辺偉夫 (1998): 日本被害津波総覧, 東京大学出版会, 238p.