

# 航空写真と DEM データから推定した東日本大震災での津波遡上高の分布とそれら地理的特性

柳川 竜一\*・虻川 佑太\*\*・越野 修三\*・堺 茂樹\* \*\*・南 正昭\* \*\*

Estimation of Tsunami Run-up Height by the Great East Japan Earthquake Tsunami Determined from Aerial Photographs and DEM, and Their Geographical Characteristics

Ryoichi YANAGAWA\*, Yuta ABUKAWA\*\*, Shuzo KOSHINO\*, Shigeki SAKAI\*  
\*\* and Masaaki MINAMI\* \*\*

## Abstract

From tsunami run-up borderline of the Great East Japan Earthquake Tsunami determined from aerial photographs, altitude by laser scanning location & altitude survey and site reconnaissance, tsunami run-up height was estimated and considered its accuracy. The possibility of tsunami run-up height was higher than existing field survey results has suggested. The maximum run-up heights of Iwate's 24 regional coasts had exceeded T.P.+25m, especially above T.P.+30m at the northern area from Outer-Ofunato bay. At Kuji bay, Fudai coast, Iwaizumi coast, Omoe coast, Funakoshi bay and Yoshihama bay had spots more than T.P.+45m. Considering the altitude and land slope gradient, some of the survey value may had been measured the tsunami run-up heights with tsunami reflections and splashes. Geographical characteristics of the higher tsunami run-up area were listed as follows. Steep cliff terrain, Coastline is facing the pacific ocean, Bay mouth, The coastal protection is undeveloped, and Cross-sectional shape is narrowed suddenly like mountain river and gorge.

キーワード：東日本大震災，航空写真，数値標高モデル，岩手県，津波遡上，現地踏査

Key words : the Great East Japan Earthquake, Aerial Photograph, Digital Elevation Model, Iwate Prefecture, Tsunami Run-up, Site Reconnaissance

\* 岩手大学地域防災研究センター  
Research Center for Regional Disaster Management, Iwate University

\*\* 岩手大学工学部社会環境工学科  
Department of Civil and Environmental Engineering,  
Iwate University

## 1. はじめに

東日本大震災による津波被害は東北地方全域にわたっており、なかでも岩手県は三陸海岸特有の地形の影響で津波遡上高が他地域よりも大きい。森ら<sup>1)</sup>土木学会津波合同調査チームによる痕跡調査結果を整理すると、岩手県での浸水高は、T.P.+29.52m (宮古市姉吉), T.P.+29.34m (釜石市両石), T.P.+28.94m (宮古市松月), T.P.+28.46m (岩泉町茂師漁港海岸), T.P.+28.33m (田野畑村切牛海岸)の順で高い。遡上高については、T.P.+39.71m (綾里南側湾口), T.P.+39.45m (宮古市田老), T.P.+38.92m (宮古市姉吉), T.P.+38.38m (宮古市姉吉), T.P.+38.08m (野田村米田)と、広範囲且つ T.P.+40m 付近まで達した津波痕跡が多く記録されている (図 1)。なお、津波痕跡調査は限られた人員・日数で直接踏査可能な場所へ入りデータを取得するため、現地への移動が困難な内陸部に遡上した津波痕跡の把握が不十分な可能性が挙げられ、津波来襲後の痕跡映像からもこれら現地データを上回る可能性が高い地域も多々見受けられた。一方、航空写真から津波遡上区域を判定する

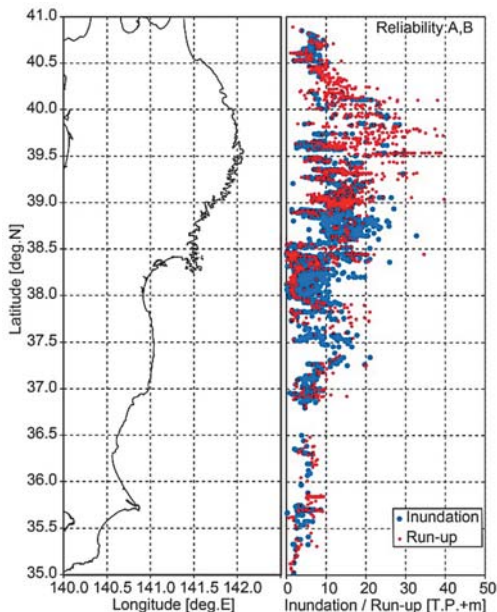


図 1 東日本大震災の津波痕跡高 (東北地方全域, 信頼度 A・B のみ)

ことは、津波災害の初動対応として現地を訪れることなく広域での浸水地域や建物流出状況、孤立集落等の被害状況を把握するのに有効で、さらに遡上高を加味することでより具体的な状況の理解が期待される。そこで、本研究では、航空写真から判定された津波遡上が疑われる境界線 (以後、「津波遡上境界線」と表記) 情報と震災後の標高を組み合わせることで津波が遡上した範囲とその高さを推定するとともに、津波遡上の地理的特性を現地踏査を交えて空間的に把握することを目的とした。

## 2. 収集・利用データ

### 2.1 津波遡上境界線

岩手県国土整備部は、国土地理院が震災後に撮影した航空写真<sup>2)</sup>を読み取ることで津波が到達した陸上の緯度・経度を整理し津波遡上境界線を作成している。浸水地域と浸水を免れた地域との境界は、航空写真から認識できた海水による植物の変色や発泡スチロール・ブイ等漂流ごみの痕跡から判定している (図 2)。判定不明瞭な箇所については、現地ヒアリング調査の証言を反映したり、痕跡が確認できた近隣の標高と等しい地図等高線の標高で補間している。本検討では、遡上境界線を津波が到達した最大範囲と仮定した。

### 2.2 標高

震災後の標高は、国土地理院が実施した航空レーザースキャナ測量から作成した基盤地図情報数値標高モデル (DEM)<sup>3)</sup>の標高値を採用した。



図 2 航空写真から判定した津波遡上境界線 (赤色)

標高値は、航空レーザースキャナ測量で地表に到達した計測点の標高値から家屋・高架・橋梁等の人工構造物および樹木などの植生をフィルタリング処理により除去し、0.2" (約5m) 正方メッシュ中心点の標高値を内挿処理により作成しており、その精度は水平方向に1m、高さは都市域等・河川流域等で0.3m、都市域周辺等で0.7mとなっている。本検討では、各地点の標高値を東日本大震災による地盤沈下後0.2"格子での地盤高と仮定して解析に利用した。

### 2.3 津波痕跡情報

津波浸水区域内の津波痕跡高は土木学会東北地方太平洋沖地震津波合同調査Gが収集・整備しており、最新版である2012年12月29日リリースデータを精度検証に用いた<sup>1)</sup>。用いたデータ項目は、各調査地点の緯度、経度、遡上高、観測地点地理および現地情報である。本検討では、全調査データの中から信頼性が高いと判断される信頼度A・Bのみを採用した。

### 2.4 地域海岸の分類

岩手県津波防災委員会<sup>4)</sup>は、東日本大震災の発災後、以下の3つの指標(①同一の湾で区分、②湾口防波堤が計画されている湾は湾口防波堤の内外で区分、③海岸線の向きが一樣な区間で区分)を用いて、同一の津波外力を設定しようと判断される区間を地域海岸と設定している。本検討では、津波遡上高の地域比較を行う為、岩手県が設定した図3に示す24地域海岸を対象とした。

### 2.5 海岸保全施設

海岸線および海岸付近に整備されている防潮堤や水門、陸間、河川堤防、漁港に代表される海岸保全施設の配置状況について、著者らは岩手県海岸保全施設等天端一覧<sup>5)</sup>および現地踏査から得られた東日本大震災後の被災状況を収集・整理しWebGIS<sup>6)</sup>を構築している。現地踏査は2012年7月～10月に実施しており、保全施設や背後地を含む周辺地域の被災状況を写真や動画で記録した。現地踏査当時、一部破損の防潮堤や漁港施設は修

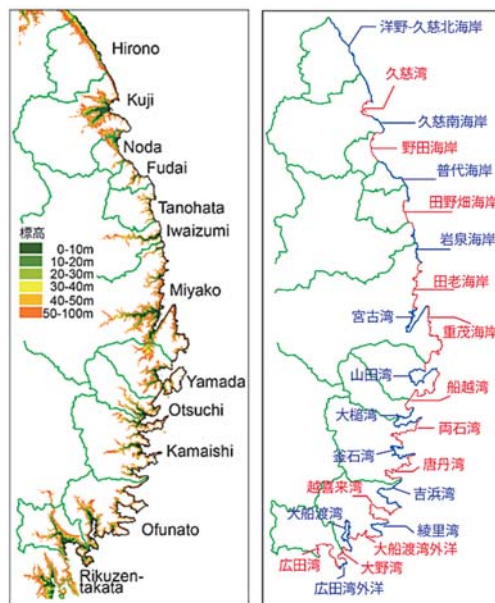


図3 沿岸12市町村(左)と24地域海岸(右)

復済みの箇所もみられたが、人口密度が低い地域や背後に集落を有しない地域、壊滅的な被害を受けた地域では瓦礫処理のみ完了している程度の地域も多くみられた。岩手県は、242カ所の中小漁港や海岸等の海岸施設のうち約8割にあたる187カ所で海岸保全施設を設定しており、震災当時では114カ所が津波・浸食対策を講じていた。にも係わらず、一部整備済を含め施設のほとんどが何らかの被害を受けている(表1)。

### 2.6 津波遡上地域の現地踏査

津波遡上地域の地理的特性を把握するため、推定された津波遡上地点の中でも特に遡上高が著しい箇所の地形や河川・水路・道路・海岸保全施設の有無および破壊状況の現地踏査を実施した。GIS上で踏査地域をあらかじめ把握しておき、ハンディGPS(GARMIN社製Etrex30)を利用して現地を探索した。現地踏査は2013年11月に実施しており、現地の映像を記録するとともに、斜面勾配、河川・水路・道路の配置状況、海岸保全施設の施設高さといった地理的条件を整理した。

表 1 岩手県内 24 地域海岸別海岸施設数, 震災時海岸保全施設の整備状況および地理的特徴

海域 ID	24 地域海岸	海岸施設	海岸保全施設			地理的特徴
			整備済	一部整備済 または未着工	施設等 設定無	
1	洋野・久慈北海岸	34	12	7	15	多くが急峻地形・断崖で内陸側に集落
2	久慈湾	6	3	3	0	湾奥部は平地で湾口部は急峻地形・断崖
3	南久慈海岸	2	0	1	1	ほとんどが急峻地形・断崖
4	野田湾	14	10	3	1	中心地域は平地だがそれ以外は急峻地形
5	普代海岸	10	2	4	4	ほとんどが急峻地形・断崖
6	田野畑海岸	12	1	5	6	ほとんどが急峻地形・断崖
7	岩泉海岸	9	4	1	4	小本以外はほぼ急峻地形・断崖
8	田老海岸	13	4	2	7	ほとんどが急峻地形・断崖
9	宮古湾	15	7	8	0	湾西部～南部は平地で東部は急峻地形・断崖
10	重茂海岸	8	2	5	1	重茂集落以外は急峻地形・断崖
11	山田湾	11	3	8	0	湾奥部は平地で湾口部は急峻地形・断崖
12	船越湾	9	5	3	1	船越・吉里吉里以外は急峻地形・断崖
13	大槌湾	10	4	5	1	大槌・鶴住居以外は急峻地形・断崖
14	両石湾	4	2	2	0	ほとんどが急峻地形・断崖
15	釜石湾	10	8	0	2	湾奥部は平地で湾口部は急峻地形・断崖
16	唐丹湾	8	3	4	1	ほとんどが急峻地形・断崖
17	吉浜湾	8	2	2	4	ほとんどが急峻地形・断崖
18	越喜来湾	10	7	1	2	ほとんどが急峻地形・断崖
19	綾里湾	1	1	0	0	ほとんどが急峻地形・断崖
20	大船渡湾外洋	9	4	2	3	ほとんどが急峻地形・断崖
21	大船渡湾	10	9	1	0	湾口部以外は平地
22	大野湾	9	4	4	1	平地と急峻地形が同程度
23	広田湾外洋	3	2	0	1	ほとんどが急峻地形・断崖
24	広田湾	17	15	2	0	湾奥部は平地で湾口部は急峻地形
	岩手県全体	242	114	73	55	

### 3. 解析手法

#### 3.1 津波遡上高の推定

解析に用いたデータセットは、GIS 上で標高と津波遡上境界線のレイヤをそれぞれ作成するとともに、境界線レイヤから海側領域（境界線から 5m 幅）の標高値を抽出した（図 4）。採用する領域幅を境界線海側 5m に設定した理由として、基盤地図情報の空間解像度が約 5m である、三陸海岸特有の急傾斜地のため境界線から離れる程真の値との誤差が大きくなる、境界線よりも内陸側を選択すると過大評価してしまう可能性を排除する点を

考慮した。本手法のデメリットとして、境界線の形状によっては等間隔での値を取得することが困難で欠損箇所もみられる、標高が急激に変化する崖地形では大きく過小評価する可能性がある点が挙げられる。なお、解析を進めるにあたり想定される真の値との誤差として、各種データの座標系を変換させたこと等により発生する桁落ち・丸め誤差、5m 幅を設定した事による抽出データ誤差、遡上境界判定の人為的誤差、基盤地図情報の標高値誤差、精度評価に用いた現地痕跡調査での GPS 機器の測定精度が挙げられる。今回は、これら誤

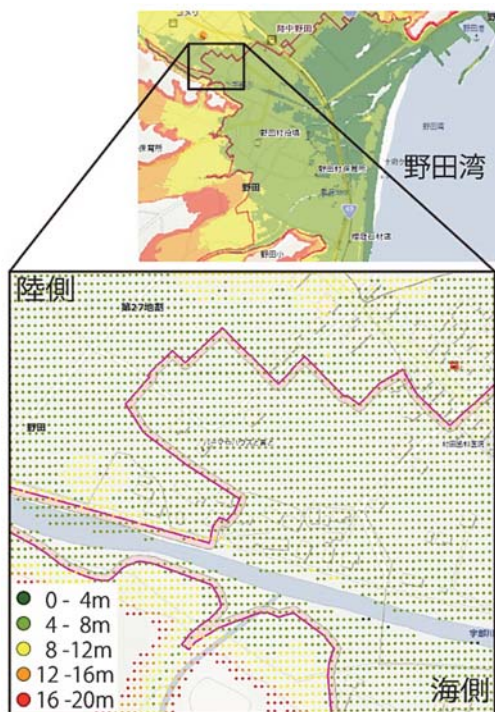


図4 データ処理の一例  
(点は標高値、線は津波遡上境界線)

差がある事を踏まえて評価した。

### 3.2 斜面勾配

斜面勾配は、国土地理院基盤地図情報数値標高モデルの標高値から10m格子メッシュ斜面勾配をGISツールで作成し、津波遡上境界線および海側5m領域内に該当する値を抽出した。抽出した値は標高値のデータセットと統合して、遡上高の空間解析に用いた。

## 4. 解析結果および考察

### 4.1 遡上範囲の精度評価

津波遡上の平面分布に関する精度確認を行うため、土木学会が取り纏めた現地遡上痕跡位置とそこから最も近い津波遡上境界線迄の距離を算出し、航空写真による遡上範囲の判定と実際の遡上範囲との差違(水平誤差)について確認した。津波浸水高の痕跡資料は解析に用いていない。岩手県内で測定された現地遡上痕跡位置は、1,155地点

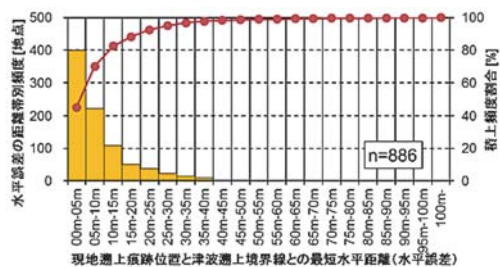


図5 現地遡上痕跡位置と津波遡上境界線との最短水平距離(水平誤差)の分布(水平誤差)とその頻度

あったが、位置情報の精度不足で痕跡位置が明らかに海上や浸水区域外、浸水区域内でも樹木や構造物等の突起物での痕跡高を削除すると886地点に絞り込めた。航空写真から判定した津波遡上境界線の水平誤差を図5に纏めたところ、全データの45%が5m未満、70%が10m未満、88%が20m未満に収まっていると推定された。従って、航空写真による津波遡上の平面分布の判定は、本検討で目標とした津波災害の初動対応として現地を訪れることなく広域での被害状況を把握する目的を果たしていると考えられた。なお、水平誤差が20mを越える地点は12%存在した。乖離している特徴的な理由として、道路・河川・水路では津波が周辺地域より遡上しやすいが、高架道路や森林で覆われると写真判定が困難であることが挙げられた。高架道路や森林地帯での精度向上は、より高精度な遡上範囲推定に寄与できると期待された。

### 4.2 遡上高の精度評価

土木学会が取り纏めた現地遡上痕跡高と、各実測地点での半径5m圏内に位置する標高値(以後、「推定遡上高」と表記)とを抽出したところ、岩手県内における比較データは336地点が得られ、±2mの誤差範囲内に全体の52.1%、±3mでは65.2%、±4mでは74.7%、±5mでは78.3%が含まれていた(図6)。推定遡上高と現地遡上痕跡高とでは、同等もしくは現地遡上痕跡高の方がやや高い傾向にあった。現地遡上痕跡高の方が高かったこれら観測地点の多くは、樹木、構造物、斜面、山腹での測定であったとのメモが残されている。数値標高モデルの標高値は構造物等の高さを除去してい

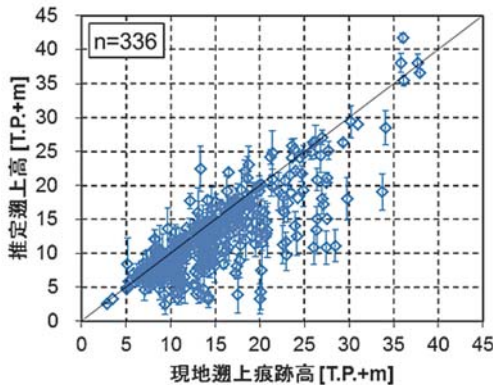


図6 現地遡上痕跡高と航空写真から判定した推定遡上高との比較(エラーバーは斜面勾配から推定された誤差の最大幅)

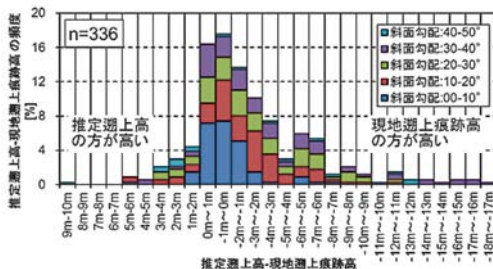


図7 斜面勾配帯別での推定遡上高と現地遡上痕跡高との誤差分布

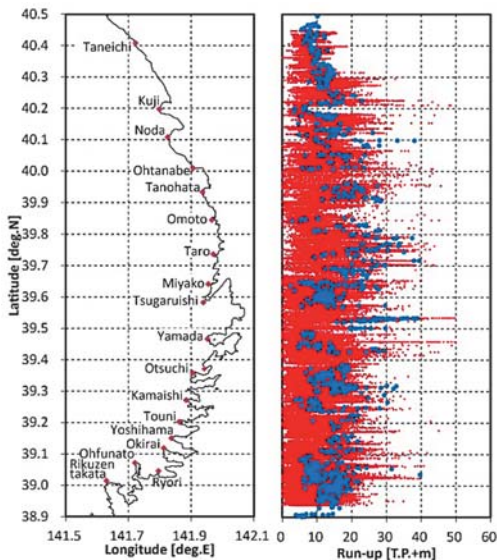


図8 現地遡上痕跡高(青色)と航空写真から判定した推定遡上高(赤色)の空間分布

一方、痕跡調査は樹木や構造物に付着した漂流物を痕跡と認識しており、樹木高や構造物高だけ高くなる事が挙げられる。また、標高値は数値標高モデル正方メッシュ中心点での値を代表値としているため、斜面や山腹などの斜面勾配が大きい箇所では、中心点からの水平距離と勾配の大きさに起因する誤差の発生が考えられる。例えば、水平距離5mに対して平均勾配10°地域での標高誤差は0.9m程度だが、30°で2.9m、50°で6.0mに達する。図6のエラーバーが示すとおり、推定遡上高は、斜面勾配の大きさに伴う標高誤差分だけ差違が含まれていると考えられ、現地遡上痕跡高と推定された標高誤差を加味した推定遡上高との決定係数は0.76、標準誤差は3.4mと見積もられた。樹木高・構造物高の誤差を含めた斜面勾配別での標準誤差は、勾配角0-10°で2.2m、10-20°で3.6m、20-30°で4.3m、30-40°および40-50°ではそれぞれ6.5mと、斜面勾配が大きいほどバラツキが広がっており、崖地の様な急傾斜を有する地形ではデータの信頼性を考慮して利用する必要がある(図7)。これらを整理すると、樹木や構造物に付着した痕跡高さに起因する遡上高の過小評価、斜面勾配に起因する標高誤差ならびに想定される真の値との各種誤差に注意する必要があるものの、現地の斜面勾配から推定される標高誤差を考慮することで再現性を高めることが可能であり、現地を訪れることなく広域での津波遡上高を大凡把握するのに本手法の適用は有効であると考えられた。

### 4.3 推定遡上高の分布

推定遡上高を緯度方向に整理し、土木学会による津波痕跡調査の結果を併記した(図8)。斜面勾配に起因する標高誤差の最大値は、数値標高モデルの空間解像度から10°で±0.6m、20°で±1.3m、30°で±2.0m、40°で±3.0m、50°で±4.2m、60°で±6.1m、70°で±9.7mと推定された。推定遡上高が現地遡上痕跡高よりも明らかに低い箇所に関して、久慈や宮古のように背後に広い低平地を有する箇所および普代水門(普代村)や小本水門(岩泉町)背後のように津波が海岸保全施設を越流したが一時的で且つ施設が致命的な破壊を免れた箇所

所では、実際に遡上した標高が低かった可能性がある。また、太平洋に面した急勾配を有する箇所では、主に津波遡上境界線の判定精度と斜面勾配が急峻なために標高誤差が大きくなった結果過小評価している可能性が高く、推定遡上高の最低値評価にはこれら誤差に注意する必要がある。太平洋に面した県北～県央海岸線では、地理的な条件で調査に入る事が困難だったためか、久慈湾北部、久慈南海岸、重茂半島、船越半島をはじめ多くの地域で現地遡上痕跡高よりも高く津波が遡上した可能性が示唆された。推定遡上高が高い箇所を精査すると、山田町船越で T.P.+49.8 ± 0.2m、宮古市姉吉で T.P.+49.6 ± 0.2m、久慈市夏井で T.P.+48.4 ± 4.3m、田野畑村明戸で T.P.+45.6 ± 3.6m、岩泉町小本で T.P.+45.1 ± 5.5m が得られた。表 2 では、遡上高と斜面勾配が得られた地点のうち、24 地域海岸それぞれについて抽出された推定遡上高の最大値（以後、「推定最大値」と表記）とその位置、現地踏査から崖地でない斜面勾配 30° 以下で内陸側へ遡上した地点での推定遡上高の最大値（以後、「抽出推定最大値」と表記）とその位置、現地遡上痕跡高の最大値とその位置および記録されていた現地の情報を整理して斜面勾配に起因する最大誤差を付記した。海岸線付近での崖地や急傾斜地では、津波の反射および飛沫が痕跡として残り遡上高が過大評価している可能性がある。また、斜面勾配が大きくなるほどデータの信頼性が損なわれることを考慮して、抽出推定最大値は、急傾斜の指標と定義されている斜面勾配 30° 以下で遡上境界線が海岸線から内陸側にある地形での値のみを抽出した。また、これら地点の位置や高さを図 9 に纏めた。その結果、各地域海岸の推定最大値はいずれも T.P.+25m を上回っており、大船渡湾外洋以北では T.P.+30m を上回る可能性がある事が明らかとなった。また、太平洋に面しているまたは湾地形でも開口部が広い久慈湾、普代海岸、岩泉海岸、重茂海岸、船越湾、吉浜湾では津波遡上が T.P.+45m を越える地点も存在した。抽出推定最大値は、多くの地域海岸で推定最大値よりも低下したが、久慈南海岸・野田湾・重茂海岸・船越湾では同一もしくはほぼ同一地点であった。これら地

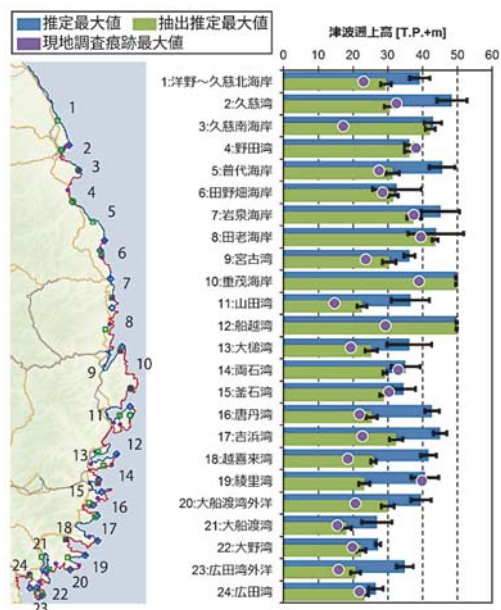


図 9 24 地域海岸での推定最大値と抽出推定最大値ならびに現地遡上痕跡最大値の分布（エラーバーは斜面勾配から推定された誤差の最大幅）

域海岸では、沢や山間の河川、山間の道路に沿って内陸側へと遡上していた。久慈南海岸・重茂海岸・船越湾・大船渡湾外洋では、抽出推定最大値と現地遡上痕跡最大値との差が大きかった。これら地域では最大遡上位置付近での痕跡調査の記録がなく、実際はより高い痕跡があったにも関わらず調査が見逃され過小評価されている可能性がある。綾里湾での現地遡上痕跡最大値は、抽出推定最大値を大きく上回っている。調査記録によると、この値は船上から崖地を計測して得ており、津波の反射および飛沫の影響を含んだ遡上高であると考えられた。それ以外の地域海岸については、同一地点でないものの推定抽出最大値と現地遡上痕跡最大値とは同等であった。

#### 4.4 津波遡上の分布詳細と地理的特性

24 地域海岸の中から代表的な特徴を有する海域として、県北部で湾奥部に広い低平地を有する久慈湾、県中央部で太平洋に面した海岸線を有する田老海岸および重茂海岸を取り上げ、津波遡上の分布と地理的特性について現地踏査の様子を加

表 2 24 地域海岸における推定最大値・抽出推定最大値・現地遡上痕跡最大値の一覧

海域 ID	24 地域海岸	境界線および海側 5m 領域内標高値				現地遡上痕跡最大値		
		推定最大値と 斜面勾配による最大誤差		抽出推定最大値と 斜面勾配による最大誤差		T.P.+m	deg.N/deg.E	現地情報
		T.P.+m	deg.N/deg.E	T.P.+m	deg.N/deg.E			
1	洋野 - 久慈北海岸	39.2 ± 2.9	40.225/141.831	29.4 ± 1.5	40.295/141.790	22.93	40.225/141.831	久慈市麦生漁港, 山地斜面
2	久慈湾	48.4 ± 4.3	40.211/141.803	30.5 ± 1.5	40.213/141.803	32.53	40.222/141.819	久慈市国家石油備蓄基地背後, 崖上の落ち葉・ゴミ
3	南久慈海岸	43.0 ± 2.5	40.154/141.865	42.2 ± 1.4	40.154/141.865	17.09	40.153/141.867	久慈市小袖漁港 (三崎), 植物痕跡・漂流物堆積
4	野田湾	36.2 ± 1.4	40.065/141.842	36.2 ± 1.4	40.065/141.842	38.08	40.098/141.824	野田村米田, 米田川左岸の山斜面, 枯れ草・散乱ゴミ
5	普代海岸	45.6 ± 3.6	39.954/141.957	31.3 ± 1.9	40.007/141.915	27.44	39.953/141.954	田野畑村机漁港, 道路脇の漂着ゴミ・草
6	田野畑海岸	32.6 ± 7.0	39.926/141.941	31.5 ± 1.4	39.914/141.945	28.44	39.906/141.948	田野畑村島の越漁港海岸, 河口付近斜面, 漂流物・浸水痕跡
7	岩泉海岸	45.1 ± 5.5	39.845/141.977	37.4 ± 2.0	39.791/141.981	37.42	39.789/141.983	宮古市田老小堀内漁港, 道路脇の山道, 漂流物・雑草流跡
8	田老海岸	43.8 ± 8.0	39.763/141.981	43.6 ± 0.9	39.702/141.956	39.45	39.717/141.973	宮古市田老橋内浜, 沢の谷底部地面, 細かい枝や漂流物堆積
9	宮古湾	36.2 ± 1.6	39.653/142.016	30.3 ± 1.9	39.641/142.009	23.61	39.640/142.009	宮古市浦の沢漁港追切, 枯れ草の集まった流水痕
10	重茂海岸	49.6 ± 0.2	39.534/142.045	49.6 ± 0.2	39.534/142.045	38.92	39.534/142.046	宮古市姉吉漁港, 道路, 浸水痕
11	山田湾	36.5 ± 5.5	39.483/142.042	22.5 ± 1.4	39.458/142.004	14.71	39.437/141.982	山田町浦の浜農地海岸, 浸水痕
12	船越湾	49.8 ± 0.2	39.458/142.042	49.8 ± 0.2	39.458/142.042	29.32	39.432/142.005	山田町小谷島農地海岸, 林道内, 浸水痕
13	大槌湾	36.2 ± 6.4	39.349/141.991	25.2 ± 1.8	39.355/141.924	19.38	39.321/141.897	釜石市箱崎漁港海岸, 山林, 漂流物
14	両石湾	35.1 ± 4.2	39.277/141.925	29.2 ± 0.6	39.316/141.943	32.87	39.318/141.973	釜石市箱崎町, オイデ崎北側, 落ち葉の有無や枯草の状況
15	釜石湾	34.5 ± 3.4	39.243/141.935	28.8 ± 1.2	39.268/141.922	30.30	39.266/141.926	釜石湾口防波堤北側崖, 崖上の漂流物, 飛沫の可能性指摘
16	唐丹湾	42.7 ± 2.1	39.206/141.904	25.3 ± 1.6	39.212/141.888	21.79	39.225/141.921	釜石市平田, 佐須漁港海岸, 山林奥, 漂流物
17	吉浜湾	45.0 ± 1.9	39.175/141.918	32.3 ± 1.9	39.172/141.910	22.61	39.116/141.888	大船渡市三陸町越喜来小壁漁港, 斜面浸食痕
18	越喜来湾	41.7 ± 2.2	39.105/141.918	25.9 ± 0.8	39.110/141.803	18.50	39.108/141.805	大船渡市泊漁港海岸, 泊川遡上痕跡, 浸水痕と漂流物
19	綾里湾	40.7 ± 3.9	39.064/141.873	23.2 ± 1.6	39.058/141.810	39.71	39.036/141.850	綾里南側湾口, 崩れた崖, 洗われた根
20	大船渡湾外洋	39.5 ± 2.9	39.024/141.818	30.0 ± 1.8	39.025/141.741	20.62	39.041/141.766	大船渡市合足農地海岸, 川上流の漂着物, 目撃証言・漂着物
21	大船渡湾	26.8 ± 4.3	39.024/141.730	18.0 ± 1.5	39.060/141.716	15.41	39.012/141.732	大船渡湾口防波堤南側, 作業道路面, 遡上痕
22	大野湾	27.2 ± 0.8	38.974/141.697	22.3 ± 1.4	38.957/141.701	18.62	38.990/141.706	陸前高田市只出漁港海岸, 目撃証言・漂流物
23	広田湾外洋	34.8 ± 2.4	38.951/141.714	20.7 ± 1.4	38.953/141.716	15.79	38.950/141.709	陸前高田市根岬漁港海岸, 農道肩, 目撃証言・漂流物
24	広田湾	26.6 ± 2.1	38.973/141.672	23.3 ± 1.1	39.009/141.671	21.88	39.014/141.669	陸前高田市脇之沢漁港海岸, 農地, 浸水痕・漂流物



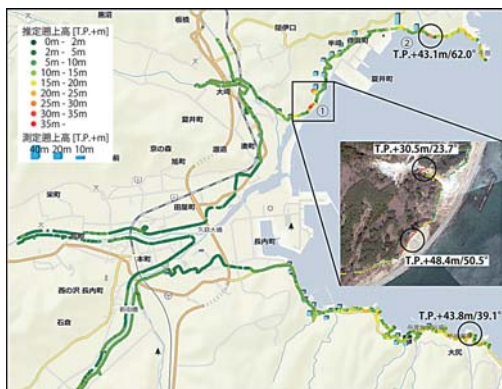


図 10 久慈湾での測定遡上高と推定遡上高の分布

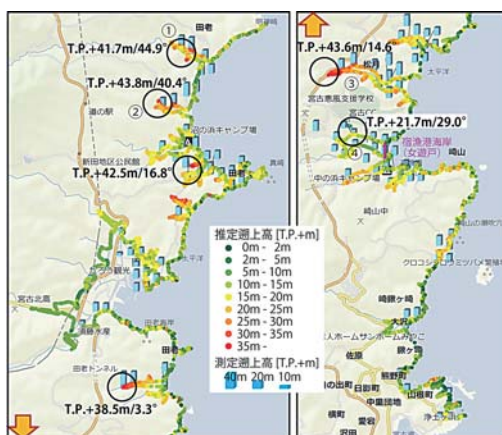


図 11 田老海岸での測定遡上高と推定遡上高の分布

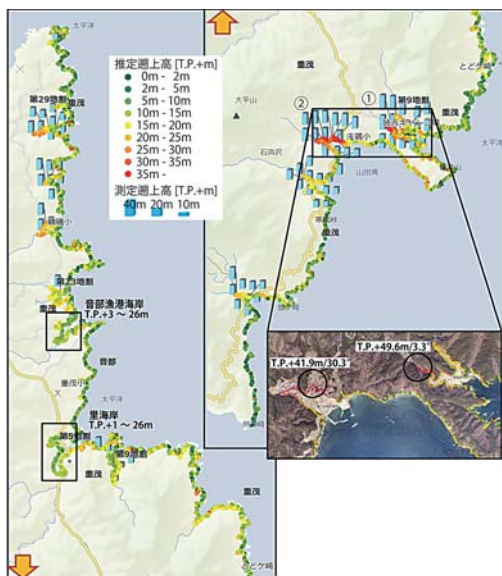


図 12 重茂海岸での測定遡上高と推定遡上高の分布

えて考察した。図 10～図 12 では、それぞれの地域における測定遡上高を棒グラフで、推定遡上高を標高帯毎に色分けして示し、特徴的な箇所については具体的な推定遡上高および斜面勾配を併記した。

#### 4.4.1 久慈湾

図 10 に示す夏井地区北側（写真 1 左）の遡上高は  $T.P.+48.4 \pm 4.3m$  と久慈湾で最も高く、斜面勾配は  $50^\circ$  を上回っていた。また、湾口地域での津波遡上高は  $T.P.+40m$  を越える箇所が点在したがいずれも急傾斜となっていた。例えば、麦生地区（写真 1 右）は、侵食対策の海岸保全施設が海岸線に沿って整備されていたが、道路を挟んで背後は斜面勾配の急な崖地形であり、湾口側先端部ではほぼ垂直に切り立った崖地となっていた。崖地形を有する地域は、津波反射および飛沫により遡上高が高くなりやすい。また、湾口地域では海岸地形による波エネルギーの減衰割合が小さいため湾奥より遡上高が高い傾向があると推察された。一方、夏井地区北東側には山間を縫うように内陸側へ遡上した箇所があり、 $T.P.+30.5 \pm 1.5m$  が推定された。久慈中心市街地での遡上高は最大でも  $T.P.+12m$  以下で、内陸側に向かうほど遡上高は低下した。

#### 4.4.2 田老海岸

宮古市田老地区中心部での推定遡上高は  $T.P.+2 \sim 18m$  程度だが、周辺の河川や峡谷地形により海岸線から内陸側に入り込んだ箇所先端では  $T.P.+40m$  を越えており、いずれも断面幅が標高の上昇とともに段階的に小さくなっている（図 11）。今回調査した 4 地域（青野滝、乙部野、松月、女



写真 1 久慈湾内における海岸線の様子（2013 年 11 月撮影）夏井地区（①）、麦生地区（②）

遊戸)では、海岸線に近い地域では平坦もしくは緩やかな勾配を有する平地が広がっていたが、内陸側へ進むにつれ斜面勾配が上昇しており、遡上境界付近では山間を縫うように流れる河川や沢となっていた(写真2)。宮古市崎山地区では、防潮堤のない松月海岸背後の推定遡上高は最大 T.P.+43.6 ± 0.9m に達したが、T.P.+11m の防潮堤を有していた南側の宿漁港海岸(女遊戸)では T.P.+21.7 ± 2.0m と、近隣で同様の峡谷地形を有しているにもかかわらず大きな差違が確認できた。水門や防潮堤、護岸、閘門等の海岸保全施設は、津波エネルギーを減衰させ津波遡上の規模を抑制させた可能性が示唆された。

#### 4.4.3 重茂海岸

姉吉漁港・千鷲漁港海岸はともに海岸保全施設が整備されておらず、背後地では津波遡上が広範

に広がっている。今回の解析結果からは、船越湾に次ぐ T.P.+49.6 ± 0.2m が推定された(図12)。姉吉では、海岸線背後に山間を縫うように河川と道路があり、それに沿って津波が遡上している。集落は高台にあったため住家への被害は無かった。千鷲では、住家が海岸付近から斜面に沿って配置しており、低地側の建物は全壊被害を受けた(写真3)。重茂海岸にて津波遡上高が T.P.+30m より高い地域は、重茂半島南東部の崖に面している箇所にも多数点在している一方、重茂半島北側に集落がある音部漁港海岸や里海岸の背後やその周辺では T.P.+30m を下回った。津波の進行方向で太平洋に面する地域では、湾口地域同様津波のエネルギーが減衰されにくく遡上高は大きくなると推察された。

## 5. まとめ

航空写真から判定された津波遡上が疑われる境界線情報と震災後の標高から、津波が遡上した範囲とその遡上高さを推定するとともに、津波遡上の地理的特性を現地踏査を交えて考察した。成果を以下に取り纏める。

- (1) 本手法は、樹木や構造物に付着した痕跡高さに起因する遡上高の過小評価、斜面勾配に起因する標高誤差ならびに想定される真の値との各種誤差に注意する必要があるものの、現地の斜面勾配から推定される標高誤差を考慮



写真2 田老海岸における津波遡上地域および遡上境界線付近の様子(2013年11月撮影)  
①青野滝、②乙部野、③松月、④女遊戸



写真3 重茂海岸における津波遡上地域および遡上境界線付近の様子(2013年11月撮影)  
①姉吉、②千鷲

することで再現性を高めることが可能であり、津波災害の初動対応として現地を訪れることなく広域での被害状況(津波遡上範囲および遡上高)を大凡把握するには有効である。

- (2) 解析の結果から、多くの地域で現地遡上痕跡高よりも高く津波が遡上した可能性が示唆された。24 地域海岸それぞれの推定遡上高の最大値はいずれも T.P.+25m を上回っており、久慈湾、普代海岸、岩泉海岸、重茂海岸、船越湾、吉浜湾では津波遡上が T.P.+45m を越える地点も存在した。
- (3) 津波の反射および飛沫による遡上高の過大評価の防止および斜面勾配が大きくなるほどデータの信頼性が損なわれることを考慮して、現地踏査から崖地でない斜面勾配が 30° 以下で内陸側へ遡上した地点での標高を抽出したところ、久慈南海岸、重茂海岸、船越湾、大船渡湾外洋での現地遡上痕跡高は過小評価されている可能性が示唆された。また、綾里湾湾口での現地遡上痕跡最大値は船上から崖地の痕跡を計測したため、津波の反射および飛沫を含んだ遡上高であると考えられた。
- (4) 遡上が高い地域・場所の特徴として、急峻な崖地形、太平洋に面しているもしくは湾口地域、海岸保全施設が未整備、山間河川や峡谷のような断面形状が急に狭くなり勾配が急で遡上が容易な地形が挙げられた。

[http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse2/index3\\_tohoku.html](http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse2/index3_tohoku.html), 2014 年 4 月 18 日

- 3) 国土交通省国土地理院, 基盤地図情報, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, 2014 年 4 月 18 日
- 4) 岩手県, 津波防災技術専門委員会, [http://www.pref.iwate.jp/~hp0212/fukkou\\_net/tsunamibousai.html](http://www.pref.iwate.jp/~hp0212/fukkou_net/tsunamibousai.html), 2014 年 4 月 18 日
- 5) 岩手県農林水産部・県土整備部: 岩手県海岸保全施設等天端一覧表, 2011.
- 6) 現地踏査写真\_ver2.0-RCRDM Iwate Univ., <http://rcrdm.iwate-u.ac.jp/links/>, 2014 年 7 月 14 日

(投稿受理:平成 26 年 4 月 18 日)

## 謝 辞

本論文の作成にあたり、様々な機関から公開資料を利用させて頂いた。とりわけ、岩手県県土整備部河川課からは津波遡上範囲の資料を提供して頂いた。ここに記し多大なる感謝の意を示す。

## 参考文献

- 1) Mori, N., T. Takahashi, and The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group : Nationwide Post Event Survey and Analysis of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, JSCE 54 (1), Special Issue of 2011 Tohoku Tsunami., 2012.
- 2) 国土交通省国土地理院, 被災地周辺の空中写真,

