

原著論文

東北地方太平洋沖地震による九十九里浜の津波堆積物と海岸地形変化調査報告

岡崎浩子・大木淳一

千葉県立中央博物館

〒 260-8682 千葉市中央区青葉町 955 - 2

E-mail: kohiroko@chiba-muse.or.jp

要 旨 東北地方太平洋沖地震の津波がもたらした、九十九里浜での津波堆積物と海岸地形変化について報告する。九十九里浜は長さ約 60 km のゆるく弓なりの形状を示す海岸である。その北東半分を調査した。九十九里海岸は近年、漂砂の供給が減少した結果、九十九里浜の中央部の堆積域を除き全域で侵食傾向が著しい。また人工的に改変された箇所も多い。調査地域の津波は遡上高で 1.8 ~ 7.9 m で、中央部から北東に行くほど顕著に高くなる。海岸の地形変化は津波の高さと、人工構造物を含めた海岸構成要素の有無、また、そこから汀線までの距離などによって異なっていた。津波堆積物からは、この地域では津波の遡上が最低 2 回はあったことがわかった。

キーワード : 東北地方太平洋沖地震, 九十九里浜, 津波堆積物, 海岸地形変化

2011 (平成 23) 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に三陸沖を震源としたマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生し、この地震に起因した巨大な津波が太平洋沿岸地域を襲い、東北から関東沿岸にかけて甚大な被害をもたらした。この地震および津波による災害、さらに直後の原子力発電所事故による放射能災害を包括して『東日本大震災』と呼称することとなり、自然災害に加えて、放射性物質の放出に伴う大気・海洋・土壤汚染、農作物や生物・人間生活への影響等、多くの問題を引き起こしている。

東北地方太平洋沖地震発生後、千葉県においても銚子市や九十九里浜に津波が押し寄せ(銚子気象台潮位記録: 2 m 40 cm)、死者や行方不明者、負傷者などの人的被害、建物や漁港への物的被害などが生じた。千葉県防災危機管理監防災危機管理課(2011)によると、2011 年 10 月 5 日 15 時現在、地震そのものによる被害、津波による被害、地震に伴う液状化の被害をあわせると、人的被害は死者 20 人、行方不明者 2 人、負傷者 249 人、建物被害として全壊 780 棟、半壊 9,021 棟、一部破損 30,182 棟、床上浸水 148 棟、床下浸水 717 棟、建物火災 13 件である。津波に関しては東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2011)によって緊急調査が行われ、九十九里町から銚子市にかけた九十九里浜周辺での遡上高は 2.1 ~ 7.9 m で、北東に行くほど顕著に高くなることが報告されている。

本報告では、九十九里浜の中央部から北東部の津波がもたらした堆積物の性状と海岸地形の変化を調査したので、その結果を述べる。

調査地域および調査方法

九十九里浜は、房総半島の太平洋側に位置する、やや弓なりだがほぼ直線状の長さ 60 km の砂浜海岸である(図 1)。海岸線はほぼ北東-南西方向に伸び、北限を屏風ヶ浦、南限を太東崎という標高約 70 m の海食崖で区切られる。九十九里浜の中央部は後浜および前浜と多段沿岸砂州を伴う外浜の地形が発達している。平均海面はほぼ標高 0 m に相当する。海浜勾配は、暴浪の遡上限界である標高 2 ~ 3 m の後浜で 1/100、-1 m から +1 m の前浜で 1/30 ~ 1/50、より外浜で 1/150 ~ 1/200 と、沖に行くほど緩くなる。九十九里浜中央部の片貝漁港における波浪観測結果によると、年平均の有義波高は 1.0 m、周期 8.0 s で、暴浪時には、有義波高は 4.0 m を超過し、周期は 12 s 以上に達する(田村, 2008)。

九十九里浜に流入する河川は、南から、一宮川、南白亀川、真亀川、作田川、木戸川、栗山川、新川であるが、いずれも上総丘陵や下総台地からの小河川で、九十九里浜の砂の主要な供給源とはなっていない。九十九里浜は北東端の屏風ヶ浦と南西端の太東崎の海蝕崖の侵食にともなって出た土砂が運搬されてできている。近年、両端の崖侵食防止の護岸や漁港建設により、砂の供給が減り、その結果、九十九里浜の中央部の作田川河口周辺での堆積域を除き全域で侵食が顕著になってきている。また、人工改変も激しく、一宮川から片貝海水浴場までは海岸沿いに高さ約 4m の海岸道路(九十九里有料道路: 通称、波乗道路)が建設され

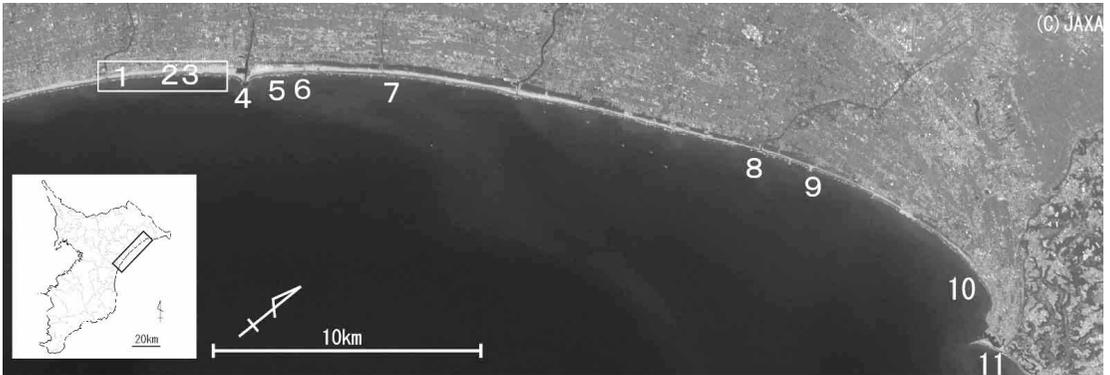


図1. 調査位置.

ている。また、それより海側の砂浜との間には高さ約2mの堤防（傾斜堤）がある。これは全域で断続的に設置されている。作田川より北東部には防風・防砂林であるクロマツ林（マツ林）が続く。顕著な侵食域ではヘッドランドや波消しブロックを用いた離岸堤などによる海浜の再生がはかられている。また海水浴場や海浜公園施設なども多く、これらの出入口などは内陸からの道路が直線的に海岸まで伸びていることが多い。九十九里浜の背後に幅約10kmで広がる海岸平野は、典型的な浜堤列平野であり、3列の浜堤群とその間の浜堤湿地からなる。一般的な平野面の標高は海側ほど低く、浜堤については約10mから3mに低下する。

調査は真亀川より北東の、九十九里浜の北東部約35kmの長さの沿岸部にある海水浴場および海浜公園などを中心におこなった。南から北へ、九十九里町不動堂納屋（地点1）、九十九里町粟生納屋（地点2）、九十九里町屋形（地点3）、片貝漁港（地点4）、作田海岸（地点5）、山武市本須賀納屋（地点6）、山武市蓮沼（地点7）、新川（地点8）、旭市仁玉浜（地点9）、旭市横根西浜（地点10）旭市刑部岬下（地点11）で、調査範囲は九十九里有料道路より約100～150m内陸側を平行に走る県道30号（主要地方道：飯岡・一宮線）より海側である。

調査は、地点1～3については平成23年3月13～

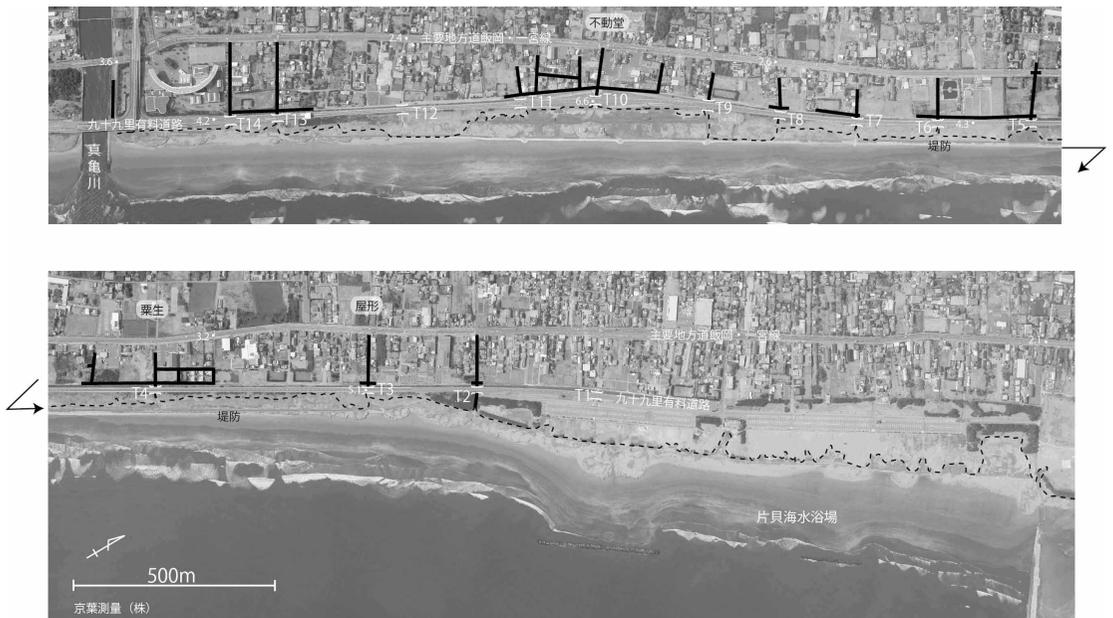


図2. 調査地点1～3（九十九里町沿岸、図1の四角囲み）の航空写真。津波堆積物の侵入経路を示す（実線）。橋マークは海岸と内陸の住宅地をつなぐ九十九里有料道路の下の通路を表す。T番号はその通し番号。海岸沿いの破線は津波が到達した大まかな範囲。地図内の白抜き数値は各地点の標高(m)を表す（平成10年12月九十九里町発行1万分の1地形図に基づく）。2011年3月12日撮影。

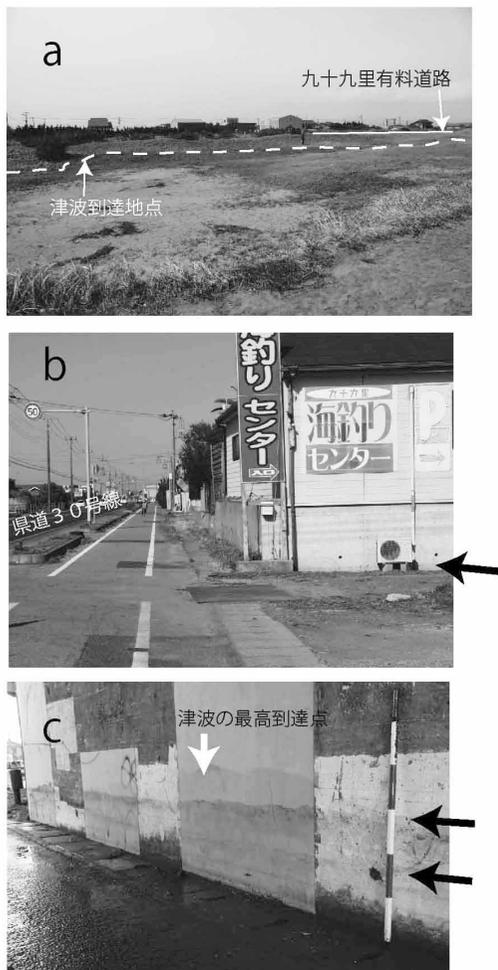


図3. a. 九十九里有料道路の近くまで到達した津波（九十九里町屋形，図2のT3付近）．海側から内陸側に向かって撮影した．津波が到達した場所を破線で示した．スケールは白線の左側に人が立っている．2011年3月20日．b. 津波到達の末端（九十九里町細屋敷，図2のT4）．県道30号の手前で止まっている．写真右が海側．建物の壁の下部に浸水痕が観察できる（黒矢印）．2011年3月19日．c. 不動堂海岸入り口の有料道路下の通路壁（図2のT10）に残る浸水痕．2本の泥の筋が観察される（黒矢印）．写真右が海側．測量ボールの赤白模様の各長さは20cm．2011年3月21日．

19日に大木が，地点1～9までは平成23年3月20日に岡崎・大木が，地点9，10については3月30日に岡崎・大木が，地点11は岡崎が4月26日に行い，津波堆積物の分布，その特徴，海岸地形の変化などを調査した．また，千葉県防災危機管理課により3月12日に撮られた空撮資料にもとづいて，津波堆積物の分布範囲およびそれ以前に撮られた航空写真などとの比較により地形変化を確認した．

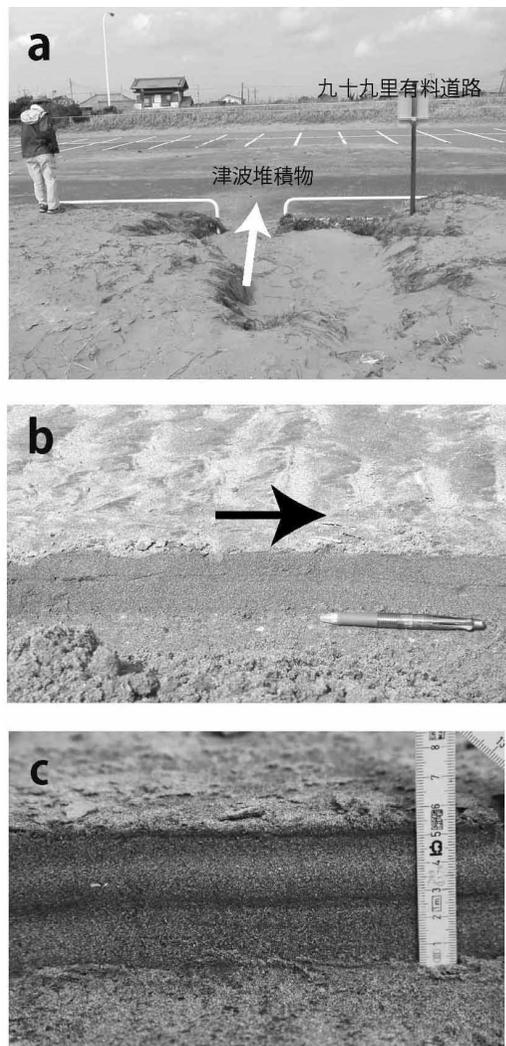


図4. a. 不動堂海岸駐車場に入った津波堆積物．白矢印は津波の侵入方向．2011年3月20日撮影．b. 津波堆積物断面とその上に残るカレントリップル．公園入り口の方向の流向を示す（黒矢印）．2011年3月20日撮影．c. 駐車場における津波堆積物の断面．aよりも有料道路下の通路に近い場所．2011年3月20日撮影．

千葉県の津波

調査地域の津波は，2011（平成23）年3月11日14時46分頃の地震発生後，15時40分すぎ飯岡に到達した．遡上高で1.8～7.9 m，浸水深2.1～6.8 mで，北東になるほど顕著に高くなる（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ，2011）．飯岡漁港では住民の聞き取り調査では4回の津波が到来し，そのうち地震発生より2時間半後の第4波（第3波という報告もある）が最大である．調査地域以外の場所における津

表 1. 九十九里有料道路下を通して侵入した津波が通路に記録したウォーターマークの高さ.

番号	ウォーターマークの到達点 (通路の底面からの高さ) (cm)		通路の底面を 埋める砂の深 さ (cm)	通路の大きさ (cm)		
	上位の筋 (括弧内は最 高到達点)	下位の筋		幅	高さ	奥行
T1	津波通過無し	津波通過無し	0	500	350	1000
T2	不明	不明	0	400	240	1000
T3	24	17	30+(15cm 以 深は植物あり)	310	190	1000
T4	28	18	30+(26cm 以深 は植物あり)	300	175	1000
T5	30	不明	14	400	240	1000
T6	64	43	30+	150	200	1000
T7	5	2.5	3	400	290	1000
T8	不明	不明	7	200	167	1000
T9	15	6	0	400	240	1280
T10	61 (86)	32	0	750	390	1000
T11	津波通過無し	津波通過無し	0	400	225	1800
T12	津波通過無し	津波通過無し	10+(5cm 以深 は敷石多数)	300	220	1000
T13	50 (60)	38	10+(瓦礫多数)	300	201	1660
T14	48?66 (90)	12?	8+(8cm 以深 は瓦礫と砂)	300	201	1695

波の高さは、銚子市外川で 4.7 m (遡上高)、夷隅郡太東漁港で 4.0 m (浸水高)、勝浦市浜勝浦 1.6 m (遡上高)、鴨川市天津港 1.2 m (遡上高)、南房総市白子 0.9 m (遡上高)、南房総市白浜町根本 2.2 m (遡上高)、館山市布良 1.7 m (遡上高) などである。

調査結果

調査地点ごとに、県道 30 号から海側の周辺環境、津波堆積物分布とその特徴、および海岸地形変化について述べる。また、記載の中で、幅は海岸線に直交する方向の距離を、長さは海岸線に平行する距離を示す。

また、標高は近くの標高点を参考にした。津波の流れの方向は、主に津波堆積物のカレントリップルの方向、また植生のあるところでは泥をかぶった草などが倒れた方向、看板などの人工物の押し倒された方向などから判断した。

地点 1-3. 不動堂納屋～片貝海岸

この地域では、県道 30 号から有料道路をへて砂浜までの津波堆積物分布を連続的に調査した。図 2 に九十九里町海岸部に津波が侵入した範囲を示す。ここでの九十九里有料道路は標高約 4～6m の高さである。離岸堤があり、砂浜の幅が広い片貝海水浴場では津波は駐車場に到達していないが、離岸堤がなくなる地点から南の地区では急激に砂浜が狭くなっており、有料道路手前まで津波が到達した(図 2.3a)。さらに津波は有料道路の下の通路から市街地側に侵入している。侵入した津波は、県道 30 号で 1 箇所を除き止まっている(図 3b)。これは、九十九里有料道路の下の通路よりも県道 30 号の標高の方が若干高かったためである。なお、有料道路下の通路には泥が付着した浸水痕が観察でき(図 3c)、各通路における高さは表 1 のとおりである。

地点 1：九十九里町不動堂納屋 (不動堂海水浴場)

南東約 1 km のところに真亀川の河口がある。調査地点は、九十九里有料道路の海側の海水浴場である。有料道路に直交して、海方向に、駐車場、人工改変された砂丘、遊歩道、堤防、前浜がある。有料道路下から汀線までは約 200 m である。駐車場の標高はほぼ 2 m である。有料道路下には、海水浴場駐車場への出入りのため 3 つの車両用通路 (T9-11) があるが、中央に

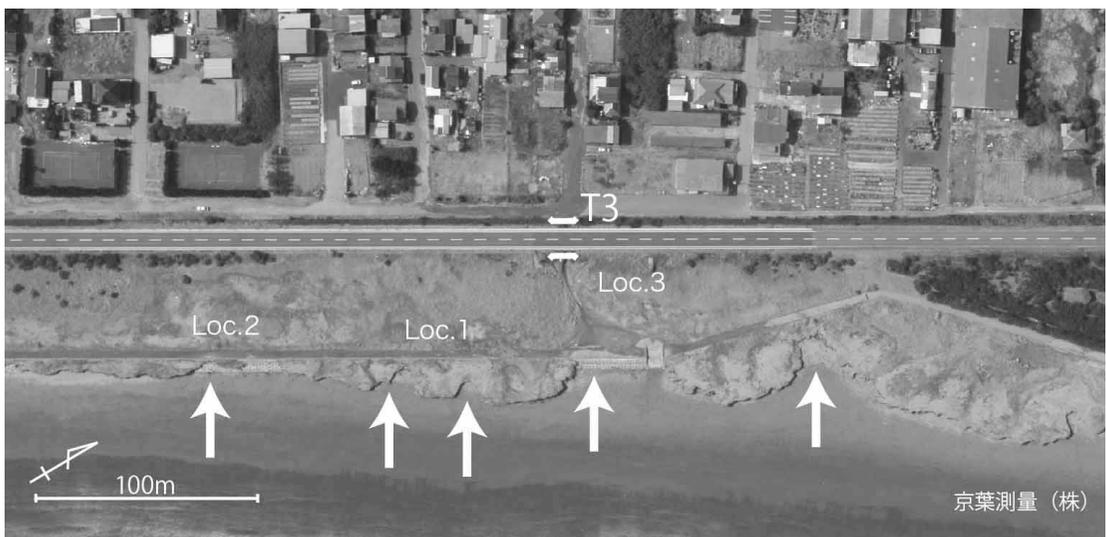


図 5. 図 2 の九十九里町粟生～屋形周辺の海岸付近拡大。矢印は津波によって削られた様子が顕著な場所。

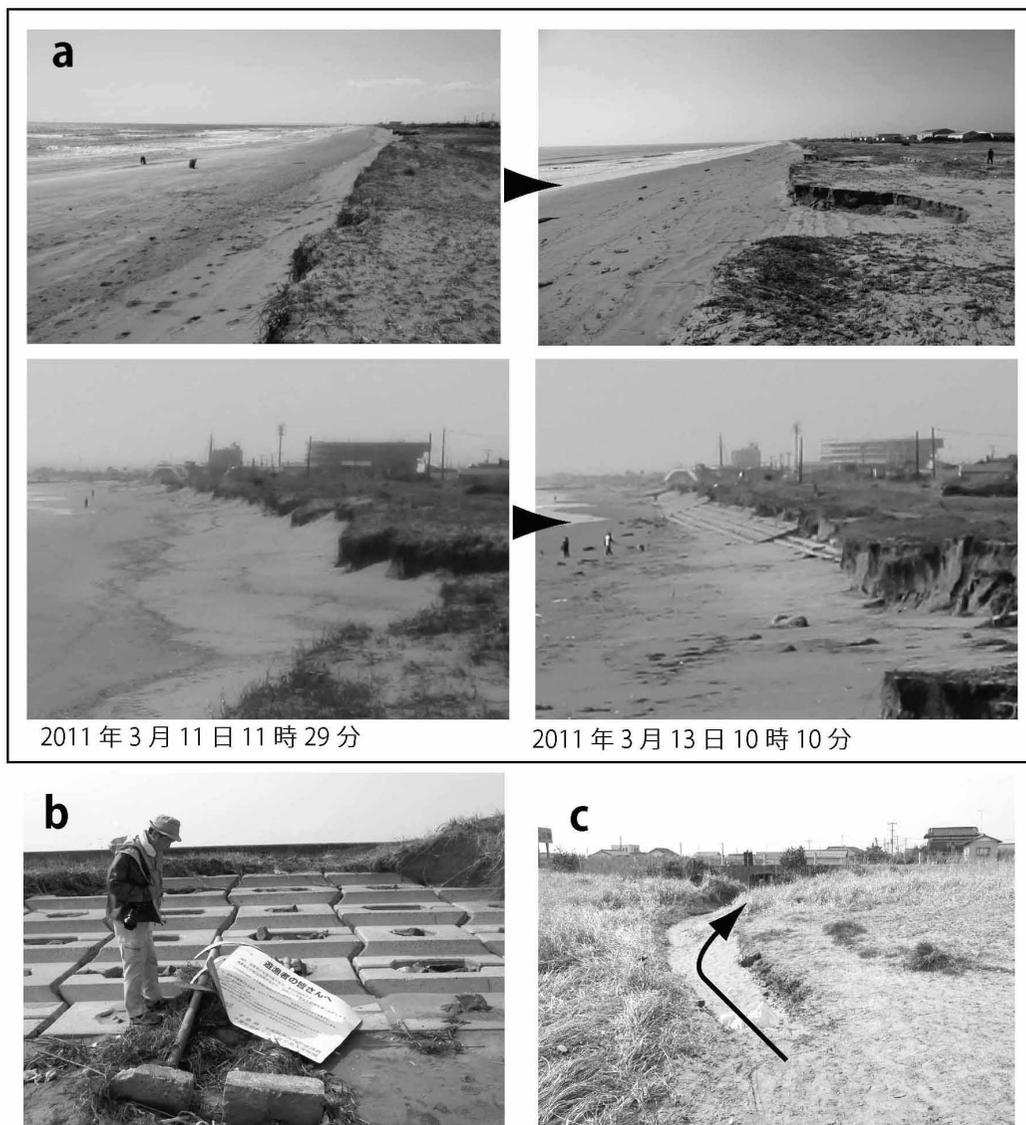


図6. a, 津波到達前と後の浜. 津波到達の前は一様に砂をかぶっていた浜が断続的に削られている(図5のLoc.1). 下図は各写真上方を拡大したもの. b, 浜にあった看板が陸側に押し倒されている(図5のLoc.2). 2011年3月20日撮影. c, 堤防をこえた押し波が九十九里有料道路下の入り口に向かった溝. この入り口からのみ街に津波がはいった(図5のLoc.3). 2011年3月20日撮影.

ある通路が最も大きい(図2).

津波は駐車場まで遡上していた. ゴミはそれより海側の堤防手前もしくは砂丘上により多く残されていた. 駐車場と砂丘の間には鉄製パイプの柵があるがこれは津波によって壊されておらず, 砂丘上にはこの柵の間へ向う狭い溝が掘られ, そこから津波が入り込み, 駐車場で扇状に広がっていた(図4a). 津波堆積物の分布は, 道路下にあるT10入口周辺が, より奥まで広範囲に堆積している(図2). 津波堆積物の層厚は約3cmから34cmである. 層相は下部で級化構造と植物

片や偽礫を挟み, 上部に泥層の薄層が認められた. これが2層で重なる. 厚いもの(34cm)では3層で重なる. 最上部にはカレントリップルがある(図4b). カレントリップルの示す方向からは, 入口に向う方向が大勢であった. 層厚は, 陸側もしくは入口付近へ向かって薄くなると同時に全体的に細粒化する(図4c).

地点2, 3: 九十九里町粟生納屋, 屋形

有料道路より海側には植生のついた砂地, 堤防, 前浜がある(図5). 有料道路から汀線まではほぼ90m.

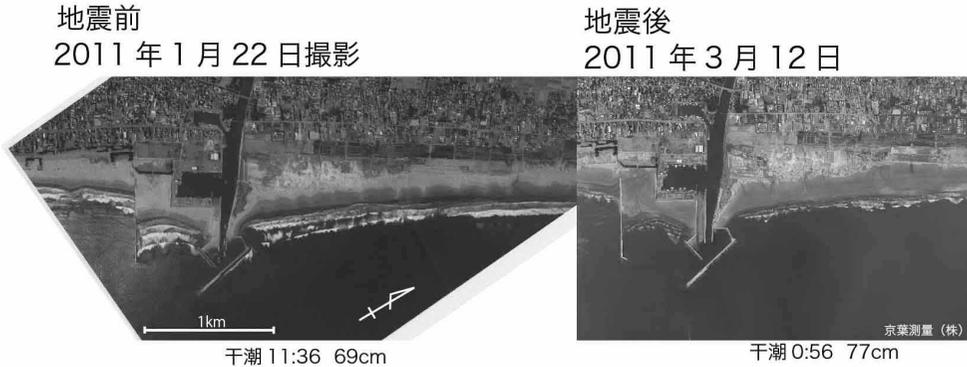


図7. 片貝漁港周辺の航空写真(図1地点4). 片貝漁港の防波堤によりこの周辺が九十九里浜で最も堆積が進んでいる場所である。

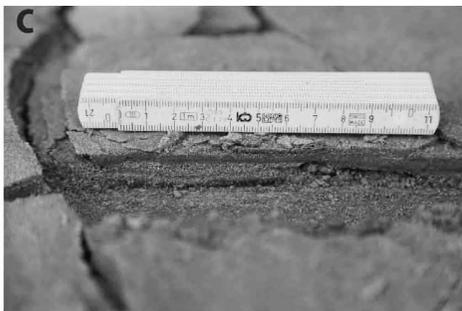


図8. a. 作田川を遡上した押し波で船が流されて橋に衝突した。写真右手が下流。2011年3月14日。b. 片貝漁港の倉庫に残された浸水痕(黒矢印)。2011年3月18日撮影。c. 建物脇に残された津波堆積物。2011年3月20日撮影。

有料道路下には、海岸に人が出入できる程度の通路がある(T3)。

津波襲来以前の堤防上には、砂が厚さ約1mで吹きだまり状にたまっていた。津波によって堤防上の砂が断続的に5~10mの長さで削りとられた結果(図5)、堤防のブロックがむき出しになっていた(図6a)。その下にはコンクリート土台をもつ標識が陸側に押し倒されていた(図6b)。また、削剥された部分の両側は高さ約1.5mの垂直な崖になっていた(図6a)。津波はさらに遊歩道から植生地に乗り上げ、有料道路の手前でとまっていた。植生地の泥のついた草の傾いた方向や分布からここに遡上した津波はいったんプール状にたまったことがわかる(図3a)。また、道路下の出入口のある部分の海側の堤防部分の砂はもっとも広く削られており、そこから出入口に向う“けもの道”は砂でおおわれていた(図6c)。この両側の草は通路側に傾いており、ここに水が流れ込んだことがわかる。この入口より市街地方向に主に道路にそって、周囲100mの範囲で表面を泥で覆われた津波堆積物の砂が分布した(図2)。

引き波も砂が削剥された部分を通過したと思われる。この部分の両側の垂直な崖からはゴミのついた草が海側に垂れ下がっていた。ゴミが砂浜上に多く残されていた。

地点4：片貝漁港

作田川河口につくられた漁港である。その防波堤が沖に張りだして、この周辺域が九十九里浜で最大の堆積域となっている。九十九里有料道路は作田川の右岸までである(図7)。作田川にかかる橋(標高4.1m)には、遡上した津波で流された船が衝突して破損しており、そのあたりまで津波が到達したことがわかる(図8a)。漁港内(標高3.4m)ではすべての場所で津波堆積物がみられた。建物に残された浸水深は0.6mである(図8b)。津波が作田川をどこまで遡上し



図9. 作田・本須賀海水浴場付近の航空写真（図1地点5と6）. 作田海水浴場は砂丘がある地域で駐車場まで津波は入り込まなかった. 本須賀海水浴場は砂丘を削り取って公園整備がされており, 駐車場全体に津波堆積物が入り込んで住宅街まで押し寄せた. 2011年3月12日撮影.

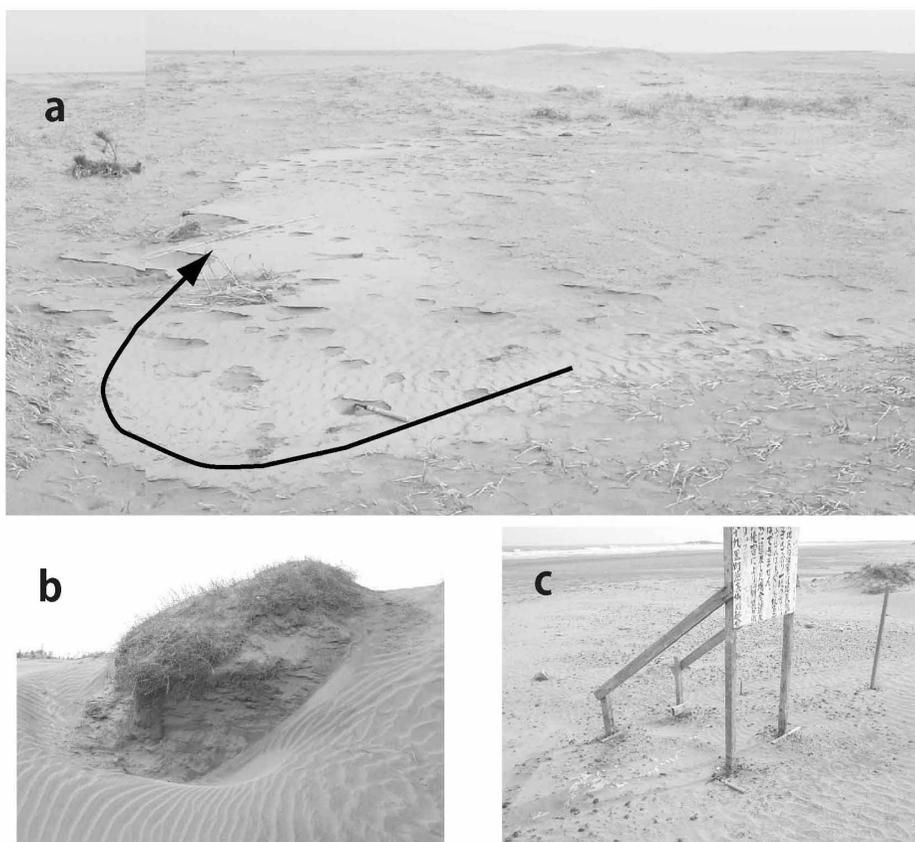


図10. a. 作田海岸における津波末端部（図9のLoc.1）. 写真右奥が海側. 写真手前は駐車場. 砂浜に入ってきた押し波はここまできて引いている. 2011年3月20日撮影. b. 削られた砂で覆われている砂丘（図9のLoc.2）. 2011年3月20日撮影. c. 海岸に残っていた看板（図9のLoc.1）. 根元の砂がさらわれているが立っている. 2011年3月20日撮影.

たかは確認していないが、南西の真亀川では、河口から約 3.5 km (九十九里町西野・真亀橋上流 200 m 地点) まで遡上している。漁港建物脇に残された津波堆積物は、2 層の逆級化層からなり、最下部は真っ黒な泥層からなる (図 8c)。

地点 5：九十九里町中川岸 (作田海水浴場)

約 800 m 南西に片貝漁港から張り出した防波堤があり、このあたりは砂浜が広い (図 7)。調査地点は、県道 30 号から海方向に住宅地とマツ林をぬけて作田海水浴場になる地点である (図 9)。海水浴場は平坦な植生地 (植林したばかりのマツの低木と草)、砂丘、前浜からなる。マツ林から汀線までは約 440 m である。

津波は砂丘をけずり標高 1.5 m の植生地まで到達しているが、それ以上内陸には入り込んでいなかった (図 9, 10a)。砂丘は上面まで波をかぶったらしく丸く削られていた (図 10b)、砂丘の背後には駐車場やそこへ入る細い道路があるが、そこに津波が選択的に侵入した痕跡がない (図 9)。また、木の杭で立てられている看板は、その下部の砂が削剥されてはいるものの倒壊してはいない (図 10c)。

航空写真では前浜に水の引いた痕がいくつか残され

ていることから、引き波は砂丘の間をぬけたと推察されるが、調査時にはほとんどわからなかった (図 9)。図 7 ではほぼ同じ潮位の津波到達以前と津波後の汀線を比較すると、汀線の形状や幅はあまりかわらないが、津波到達以前の写真でみられたビーチカスプが津波後はなくなっている。また、津波後の写真からはより多くの小さい離岸流の発生が読み取れる。

地点 6：山武市本須賀納屋 (本須賀海浜浴場)

地点 5 の北約 500 m の場所に隣接する海浜浴場である。ここでは地点 5 にあったような植生地や砂丘が取り除かれ、海水浴場の駐車場となっている (図 9)。マツ林から海側方向へは、駐車場、砂の平坦地 (もとは砂丘?)、堤防、前浜がある。マツ林から汀線までの距離は約 400 m である。駐車場への出入口は 1 カ所、出入口道路は前浜の上限にある遊歩道までのびている。

津波は駐車場まで遡上し (図 9)、出入口周辺に集中していた。出入口の壁に残っていた浸水深は 0.8 m である。駐車場の海側にある広い砂の平坦地は全面が津波堆積物でおおわれ、そのカレントリップルが示す流向は陸側および駐車場出入口の方向を示した (図 11a)。津波堆積物は約 7 cm で級化構造がみられた (図 11b)。

引き波の痕跡は、出入口付近の砂がすでに撤去されていたため確認できなかったが、引き波は出入口に集

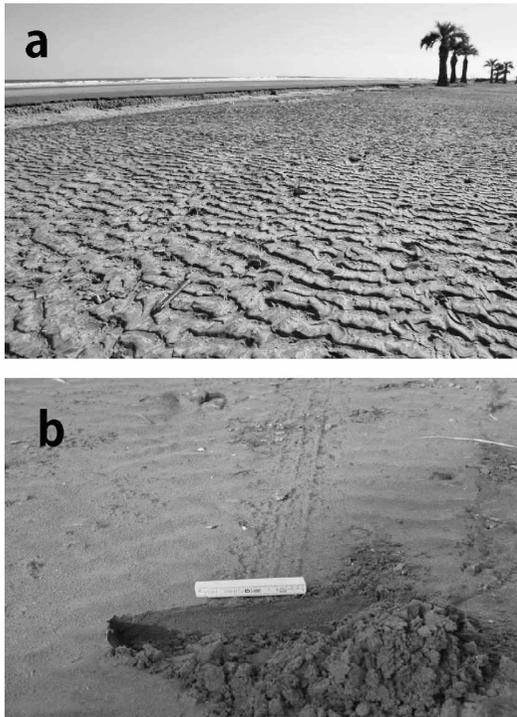


図 11. a, 本須賀海水浴場内全体にひろがっている津波堆積物。カレントリップルの方向は出入口へ向かう方向を示す。(図 9 の Loc.3) 2011 年 3 月 20 日撮影。b, 津波堆積物。2011 年 3 月 20 日撮影。

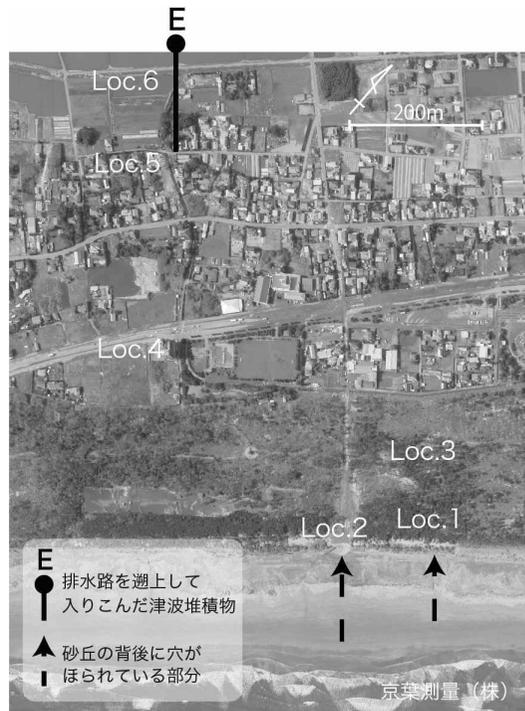


図 12. 蓮沼海浜公園周辺の航空写真 (図 1 地点 7)。2011 年 3 月 12 日撮影。

中して、そこから海に戻ったのではないかと推定される。航空写真では、出入口から直進した方向の前浜に水の引いた痕がみられる（図9）。

地点7：山武市蓮沼（蓮沼海浜公園）

調査地域内で最も広い海浜公園（海岸沿い長さ約3.5 km、幅約500 m）で、調査地点は公園の南西端にあたり、北東端に栗山川河口がある。公園内の北西には、栗山川河口近傍から海岸線と平行にのびる細長い潟状の沼地が点在する。沼地は人工的に改変され、排水路が海岸に平行もしくは直交する方向につくられている。海側には海方向に170 mほどのマツ林があり、そこから海岸にでると砂丘とその前面の前浜となる。マツ林から汀線までの距離は約150 mである。マツ林を切って浜まで直線的にのびる広い公園入口道路と、マツ林内にはサイクリングロードや遊歩道がある（図12）。

津波は、砂丘を遡上してマツ林へ向うが、この砂丘とマツ林の間に特徴的な侵食痕が認められた。侵食痕は径約2 m程度、深さ1 m程度の穴が海岸に平行していくつか掘られている（図13a）。公園入口では、この

倍の大きさの穴が掘られており、そのためにそこにあった電柱がたおれていた（図13b）。津波はこの公園入口道路に集中して流入している（図12）。同時にマツ林にも入り込み、公園内の遊歩道や水路を伝わって公園内全体に広がっていた。公園内にある松の木にはゴミが付着しており、そこでの浸水深は1.9 mであった（図13c）。

この調査地点においては、海岸に直交して公園前道路の下を通り内陸の田んぼにまで達する水路があったので、海岸部だけではなく、内陸部も調査した。公園に隣接するホテルの外側にある壁に残されていた浸水痕の高さは1.2 mであった（図14a）。水路横ではいくつかの浸水痕が残され、その高さは0.8 mであった（図14b）。公園前道路から650 mほど内陸にいくと農業道路に出るが、それより先100 mほどの田んぼの中にも津波によって運ばれたゴミや魚の死骸が認められた（図14c）。

地点8：匝瑳市新川（新川大橋）

県道30号と交差する新川には高さ約5mの橋（新川大橋）がかかっている（図15a）。この橋周辺の新川両



図13. a, 砂丘と防砂林の間に形成された連なる穴（図12のLoc.1）。2011年3月30日撮影。b, 公園入口道路（図12のLoc.1）は押し波の主要な遡上路となった。写真上が海。丸で囲った電柱が倒れている。2011年3月30日撮影。c, 公園の松の木に残っていた遡上痕（黒矢印参照）（図12のLoc.3）。2011年3月30日撮影。

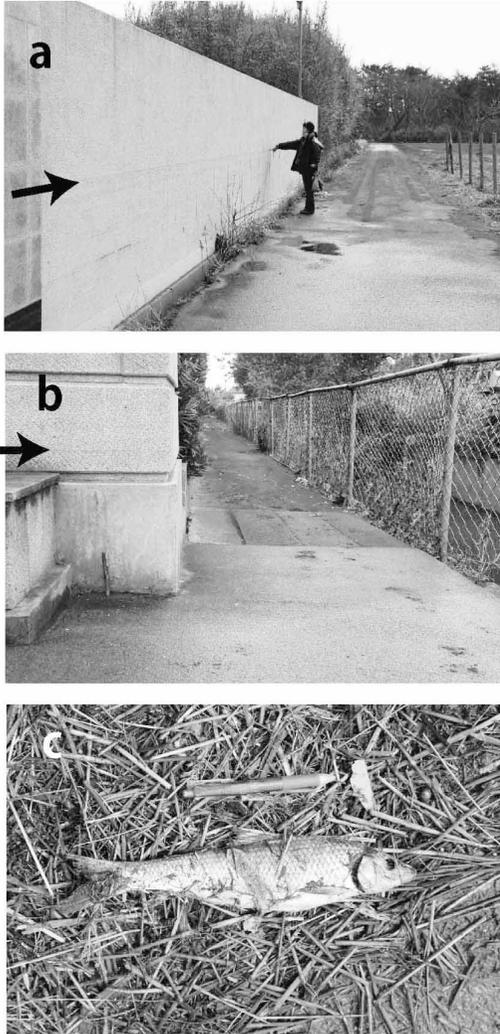


図 14. a, 蓮沼公園脇のホテルの塀にみられる浸水痕（黒矢印）（図 12 の Loc.4）. 2011 年 3 月 30 日撮影. b, 蓮沼公園より内陸に排水路から侵入した津波の痕跡. 写真右手のフェンスには排水路から溢れた押し波のゴミが、写真左手の門には浸水痕（黒矢印）が残っている（図 12 の Loc.5）. 2011 年 3 月 30 日撮影. c, 海岸線より 750m 内陸の田んぼ（図 12 の Loc.6）に残されていたニゴイの死骸. 2011 年 3 月 30 日撮影.

岸は津波の侵食によって壊されており、津波はその周辺の休耕田の中に入り込んでいた。橋の上やその周辺には砂が堆積していたが、津波襲来後の雨風により動かされた可能性も高い。ゴミは県道の土手の斜面中部に付着していた（図 15b）。

地点 9：旭市仁玉

県道 30 号より海側に住宅および宿泊施設、幅約 50 m の平地、堤防があり、その前に砂浜はなく、すぐ海

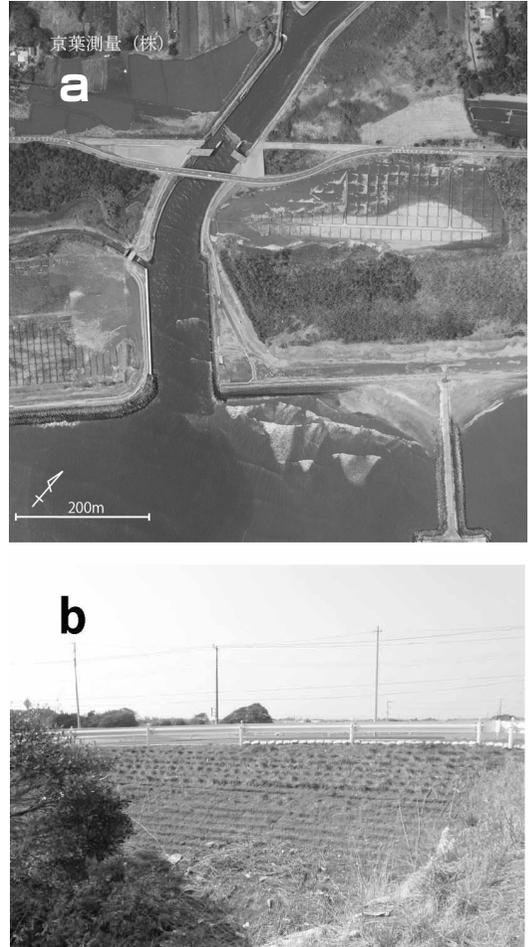


図 15. a, 新川大橋周辺の航空写真（図 1 地点 8）. 2011 年 3 月 12 日撮影. b, 新川大橋下の土手.

になる。高さ約 2 m の堤防は自転車道路になっている。沿岸には離岸堤が 2 堤とヘッドランドがあるが、ヘッドランド周辺に砂がついている程度で顕著な浜がない。海岸線に直交する排水路が内陸から堤防の下に設置されている（図 16）。

津波は堤防を乗り越え、平地から陸側の標高 4m 付近にある建物のガラス窓の高さ約 1.8 m まで到達していた（図 17a）。堤防の上面のアスファルトはめくれあがり、鉄柱がねじ曲っていた（図 17b）。平地には大きなコンクリート（ヘッドランドの防波堤のコンクリート）が点在していた。また、上述の建物の横にある狭い排水路の鉄柵が壊れていることから、そこを津波は遡上したことがわかる（図 17c）。鉄柵は西側に傾いており、津波は東寄りの方向から侵入した可能性がある。平地に残されているカレントリップルの示す流れの方向は堤防と平行する方向が多く、このことから排水路を伝わって侵入してきた津波の痕か、もしくは引きの



図 16. 仁玉周辺の航空写真 (図 1 地点 9).

津波の痕と考えられる (図 17d)。浅海域では陸からの排水路の出口から離岸堤の間をぬける部分が最も大きく削られている。引き波が集中的に通過したのではないかと考えられる (図 16)。

地点 10：旭市横根西浜（飯岡海水浴場）

この浜の背後にある飯岡町は、遡上高 7.9 m と千葉県で最も高い津波が押し寄せ、被害の大きかったところである。海岸には離岸堤が長い区間にわたり設置されており、通常は離岸堤の陸側にトンボロ状に砂が堆積している。この付近は県道 30 号が最も海寄りをしており、市街地と砂浜が近接している。汀線から県道までの距離は約 100 m である (図 18)。

津波は離岸堤をつくるコンクリートブロック (“テトラポット”) を動かして砂浜上に散乱させながら、低い堤防や駐車場を乗り越えて県道 30 号に約 2m の高さで侵入し (図 19a)、さらに市街地へと広範囲に広がっていった。この海岸で顕著なのは、引き波が砂浜上に深さ 30 ~ 50 cm、幅 1 m 程度の顕著な直線状凹地をいく

つも残っていたことである (図 18.19b)。これらの凹地の場所は市街地からの排水路の出口がある所とほぼ一致する (もともとは滞であったものもあると考えられる)。また、沖合にある離岸堤と離岸堤の間にも対応している。これらは海岸線と平行する方向に連結している。

地点 11：旭市上永井（刑部岬下）

調査地点は飯岡漁港東端の屏風浦下の堤防沿いである。屏風ヶ浦はこの地点で標高 68 m の海食崖をなしている。調査地点では、海岸侵食を防ぐために高さ約 3 m の、コンクリートブロックを用いた透過性の堤防が崖基部につくられている。海食崖と堤防との間は約 10 m で、堤防から海側には砂浜がない。通常は堤防の内側には崖から崩落した岩塊などが堆積しており、その上に草もついている。また、堤防下からわずかに入り込む波によって、たまった砂の海側は削られ砂鉄質の砂が堆積している (図 20a)。

地震後は砂が厚く堆積しており、多くのゴミがその



図 17. a, 仁玉の自転車道路周辺 (図 16 の Loc.1). 陸側の空き地にブロックが散らばっている. 2011 年 3 月 30 日撮影. b, 建物に残された浸水痕 (図 16 の Loc.4) 2011 年 3 月 30 日撮影. c, 排水路周辺 (図 16 の Loc.2). 写真左上の建物は津波で 1 階が壊された. 海側から内陸側を撮影. 2011 年 3 月 30 日撮影. d, 空き地に残されたカレントリップルマーク (図 16 の Loc.3). 2011 年 3 月 30 日撮影.

上を覆っていた (図 20). 厚さ約 55 cm の津波堆積物がみられた. 津波堆積物は侵食面の上位に貝殻片や礫を多く含んだ粗粒砂層とハンモック状斜交層理のみられる細粒砂層からなる. また砂層中には, 中～大の角礫状の泥岩偽礫がしばしば挟まれる (図 20b). これらが 2 層で重なっていた.

考 察

1. 津波堆積物分布の特徴

九十九里浜を海岸に直交する断面でみると, 陸から海方向に, 有料道路, マツ林, 駐車場, 堤防, 植生のついた平地 (砂丘が人工的に削られた?), 砂丘, 前浜などの, 人工構築物と自然地形で構成される. 津波による海岸の地形変化は襲来した津波の高さや上述の構成要素の有無, またこれらから汀線までの距離などによって異なっている. 各地点の海岸の侵食・堆積の特徴をまとめると次のようである.

地点 1～3.5～8 のように, 津波の高さが有料道路やマツ林よりも相対的に低く, また, それらの汀線からの距離がある程度ある場合は, その手前で津波の遡上は止まっている. 逆に堤防などよりも津波の方が高く, 十分な砂浜のない地点 9, 10 では, 津波は内陸深く広範囲に侵入している (図 21).

これらの関係をもう少し詳しくみると, 前浜を遡上した津波は, 地点 1～3.5～8 のようにこれと同程度の高さをもつ堤防や砂丘などにぶつかった場合, その前面を侵食している. 侵食は海岸線方向に断続的である (図 6). この原因としては, 津波が海岸の縁に沿って碎波しながら伝搬するエッジ・ボア (Shuto, 1985) ではないかと考えられる. また, 地点 7 で海岸線に平行に断続的に開いた穴 (図 13a) も同様のメカニズムの可能性が考えられる. 押し波が砂丘などを乗り越えて, 高度の低い駐車場や堤間湿地などに流入したような場合にも凹地が形成され (図 4a), その前面には扇状に津波堆積物が残されている. これは, 砂丘を乗り越えた波は射流となり, このような侵食痕を残したと考えられる. また, 津波の遡上を平面的にみた場合, その海岸に人工的に作られた低い部分, たとえば海水浴場や公園の出入口などへ津波は選択的に流入している. このことを, 津波がほぼ同じ高さと同じ入射角をもって襲来したと考えられる地点 1～3 でみてみると, 有料道路下の通路の大きさ (面積) と津波堆積物の分布から, 同じ開口部でありながら相対的により大きな開口部の方に津波が集中し, かつ, 通路に津波堆積物を残していないことがわかる. これは通路での流速が大きかったためと考えられる (表 1).

引き波の痕跡は, 押し波が断続的に入った地点もしくは有料道路下などの開口部で比較的良好にみられる. したがって, このような地点では押し波と引き波はほぼ同じ経路を通ったと考えられる. 地点 9, 10 では引

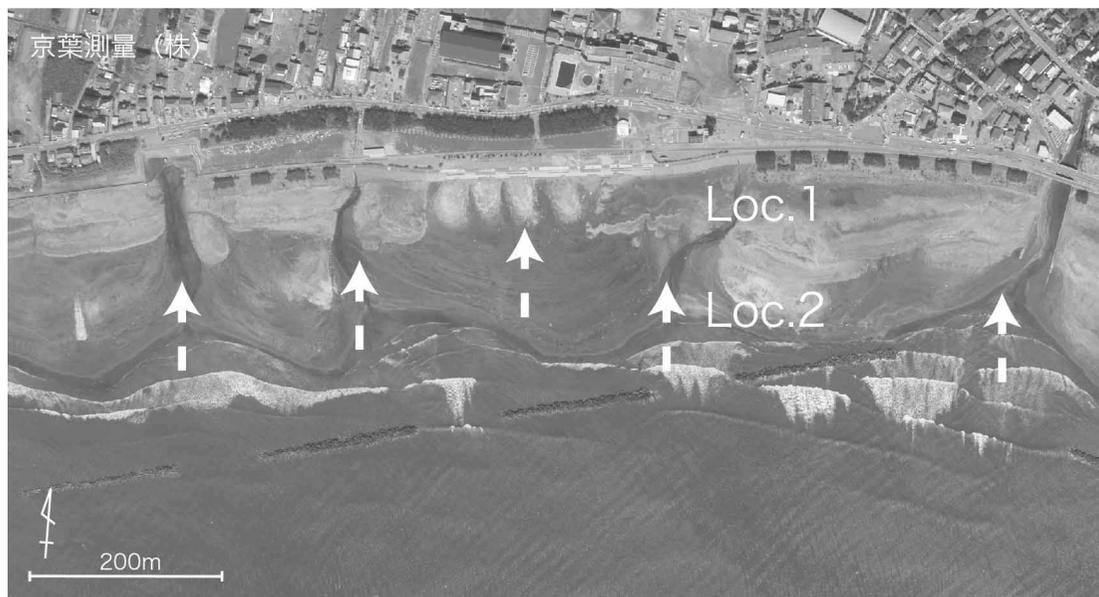


図 18. 横根周辺の航空写真 (図 1 地点 10). 砂浜に深く滯および直線上凹地が掘られている (白破線矢印) 2011 年 3 月 12 日撮影.

き波により掘られたと考えられる直線状凹地が前浜上に顕著に残されている (図 16, 18). これはもともと滯であったところも多いと考えられる. このような侵食地形はこれまでの大小の地震津波でも報告されている (高橋, 2007).

以上をまとめると, 津波の侵入方向および高さにより異なるが, 砂浜 (前浜, 砂丘などの後浜) やマツ林は, 津波に対して直線的な堤防のような機能を果たしており, この高さが高いほどまた幅が広いほど, 津波は内陸には侵入しにくくなっている. 津波遡上の沿岸方向の形態には数 m ~ 10m 程度の間隔の断続的な侵食がみられる. また, 公園入口 (通路) などといった局所的な低地があると津波の侵入はそこに集中する. また, このような地形的な凹凸のない平滑な海岸では津波は一様に侵入し, 引き波が浜全体に直線状凹地を残している.

2. 津波堆積物

津波堆積物は層厚数 cm から約 15 cm で級化構造と植物片や偽礫を挟む. この上部には泥の薄層が認められ, これらが 2 層準重なる場合が多い. 最上部にはカレントリップルがある (図 4b, 4c, 11b). 地点 4 の漁港の建物の脇では, 厚さ約 1.5 cm の堆積物が残されているが, 最下部が汚泥を含んだ黒色泥層となっていた (図 8c). ここでは, 津波の第一波は遡上していないが, その引き波が漁港内の海底を攪拌し, 第二波が攪拌された汚泥を含む底質を運搬・堆積させたのではないかと考える. これらの地点での津波堆積物は全体的に

タービダイトの層相によく似る.

刑部岬の海食崖基部では厚さ約 55cm の, おもに 2 層から成る津波堆積物がみられた. この津波堆積物の下には, 砂鉄を含んだ砂層で構成される津波前の海浜堆積物がある. 押し波による侵食面の上位は貝殻片や礫を多く含んだ粗粒砂層とハンモック状斜交層理のみられる細粒砂層からなる. また砂層中には, 中～大の角礫状の泥岩偽礫がしばしば挟まれる (図 20b). これは, 津波が十分なエネルギーをもったまま海食崖にぶつかり, そこで堆積物を落としたもので, 狭い水域では比較的厚い津波堆積物を残すことが考えられる.

以上の結果からは調査地域では, 最低 2 回の津波の侵入があったことが推定される.

まとめ

津波の遡上は砂浜の微地形や, 人工物などの有無に大きく支配されている. また, 遡上した津波記録は比較的短期間で消失するため, 本調査も浜全体から考えるときわめて一部の記録である. しかしながら, ほぼ直線とみなせる海岸で比較的小さい津波 (今回の津波の高さを他の地域のものと比べて) の遡上の特徴の一部を明らかにすることができたと思われる. 今後の防災対策の一助となれば幸いである.

謝辞

調査報告をまとめるにあたり, 終始ご指導いただきました砂村継夫大阪大学名誉教授また増田富士雄同志社大学工学部教授に厚くお礼申し上げます. 千葉県防

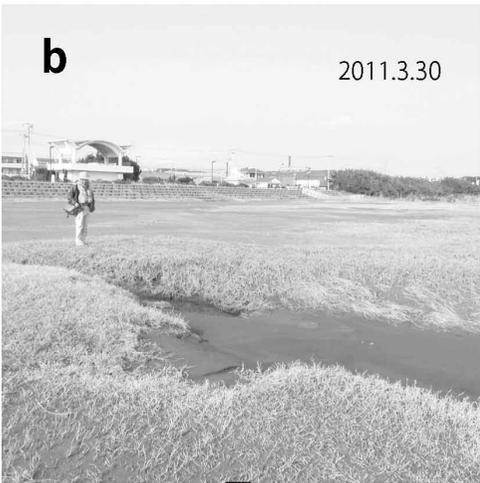


図 19. a, 津波時に動いた離岸堤ブロック (図 18 の Loc.1). b, 津波で浜に深く削られた直線状凹地とその4ヶ月後の様子. 4ヶ月後, 津波に痕跡は消失した (図 18 の Loc.2). 2011年3月30日撮影.

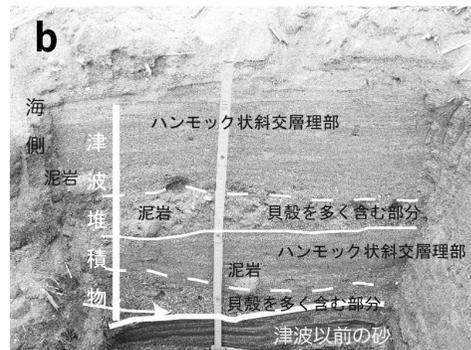


図 20. a, 地震前日の屏風ヶ浦の様子 (2011.3.10) と地震後 (2011.4.8). ↓のところが津波堆積物観察場所. b, 津波堆積物断面.

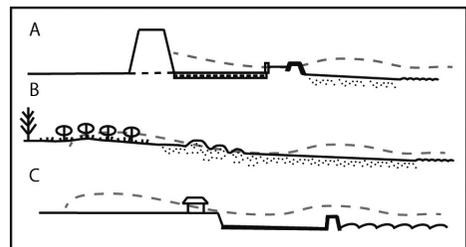


図 21. 津波と海岸断面の模式図. A, 津波の波高よりも高い防波堤がある場合. B, 砂浜 (後浜と前浜) が十分発達している場合. C, 防波堤が津波の波高に対して低く, 砂浜が十分に発達していない場合.

災危機管理監防災危機管理課浅尾一己氏には航空写真情報を提供いただき感謝申し上げます。また、刑部岬下の調査にあたりお手伝いをいただいた当館加藤久佳上席研究員、伊左治鎮司上席研究員、海匠地域振興事務所浅井秀彦氏、豊田敏政氏に感謝申し上げます。なお、本報告をまとめるにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C) No.21500858(代表:大木淳一)の一部を使用した。

引用文献

- 千葉県防災危機管理監防災危機管理課. 2011. 東日本大震災について(第180報) <http://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/h23toughoku/index.html>
- Shuto, N. 1985. The Nihonkai-Chubu earthquake tsunami on the north Akita coast. CEJ 28: 285 - 264.
- 高橋智幸. 2007. 地形の侵食. 所収 首藤信夫・今村文彦・越村俊一・佐竹健治・松富英夫(編), 津波の辞典, pp. 150. 朝倉書店, 東京.
- 田村 亨. 2008. 九十九里平野の海浜と堆積物. 所収 2008年日本第四紀学会巡検案内書「関東東部沿岸地域の地質・地形・人間活動」, pp. 35 - 45. 日本第四紀学会, 東京.
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ. 2011. <http://www.coastal.jp/ttjt/>, 2011, 4. 13. 海岸工学会.

Tsunami Deposits and Coastal Change in Kujukuri Coast at the 2011 Tohoku Earthquake

Hiroko Okazaki and Jun'ichi Ohki

Natural History Museum and Institute, Chiba
955-2 Aoba-cho, Chuo-ku, Chiba-shi, 260-8682 Japan
E-mail: kohiroko@chiba-muse.or.jp

Tsunami caused by the 2011 Tohoku Earthquake brought terrible damage to Japan. This report describes Tsunami deposits and coastal change in Kujukuri Coast at the earthquake. Kujukuri Coast is sand beach, 60 km long, along the northeastern part of the Boso Peninsula. Recently, a supply of sand decreases and a man-made change are remarkable in the coast. The tsunami investigation reported that the height of tsunami was 1.82 - 7.89 m in the survey area of Kujukuri Coast and raised northeast remarkably. A coastal geomorphologic change varied depending on the height of the tsunami and the existence of the artificial component and the width of sand beach. This survey found out that the tsunami came up to the survey area at least twice.