

2011年東北地方太平洋沖地震津波によって形成された三陸海岸の礫質津波堆積物 Gravel deposits formed by the 2011 Tohoku earthquake tsunami along the Sanriku coast

仁科健二・川上源太郎・田近 淳
Kenji Nishina, Gentaro Kawakami, Jun Tajika

Abstract

Geological investigations of tsunami deposits are exactly important to know the magnitude and recurrence interval of tsunami events. Although many previous studies have dealt with sandy tsunami deposits in coastal plains, tsunami waves can leave sediments of various grain sizes depending on environmental setting. The 2011 tsunami event left gravelly tsunami deposits in Sanriku coast area, but only few sedimentological researches have been reported it so far.

This report describes gravelly tsunami deposits transported behind rocky shores and pebble beaches along the Sanriku coast from Iwate to Miyagi Prefecture. Even though two years had passed, many gravels transported by the tsunami event were found on surfaces of terraces, talus slopes and rock shelves. The inundation heights of the tsunami event are roughly 8–10m higher than the upper limit elevations of the tsunami gravels, implying that the distribution of tsunami gravels is constrained by tsunami inundation height. Descriptions of various gravelly tsunami deposits would contribute to the detection of pseudo-tsunami traces and the estimation of paleo-tsunami inundation height.

キーワード: 2011年東北太平洋沖地震, 津波, 礫, 段丘, 崖錐, 斜面, 岩棚

Key words: The 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku, tsunami, gravel deposits, terrace, talus, slope, cliff

I はじめに

津波堆積物の調査・研究は砂浜に続く沿岸低地がおもな対象となることが多く, 岩礁海岸や礫浜海岸での研究事例は少ない. そのため低地の発達しない沿岸域では, 古津波履歴の解明が著しく遅れていることが問題となっている. 平川 (2012) は, 北海道から三陸の沿岸に分布する礫浜の背後にある海食崖の露頭において, 土壌中に配列する砂礫質堆積物を古津波堆積物として認定した. さらに高さの異なる段丘面に残されたイベントを広域に対比することで, 過去の津波の規模および波源を推定している. 段丘上の津波イベントで形成された礫については形成過程について不明な点が多いが, ストーム (暴浪) の作用の及ばないような高い場所に存在する礫の平面分布 (gravel sheet) が過去の津波の証拠 (Nichol et al., 2003) とされることや, 偏平礫の含有は海成イベントの論拠に十分なりうる (七山ほか, 2003) ことが報告されている.

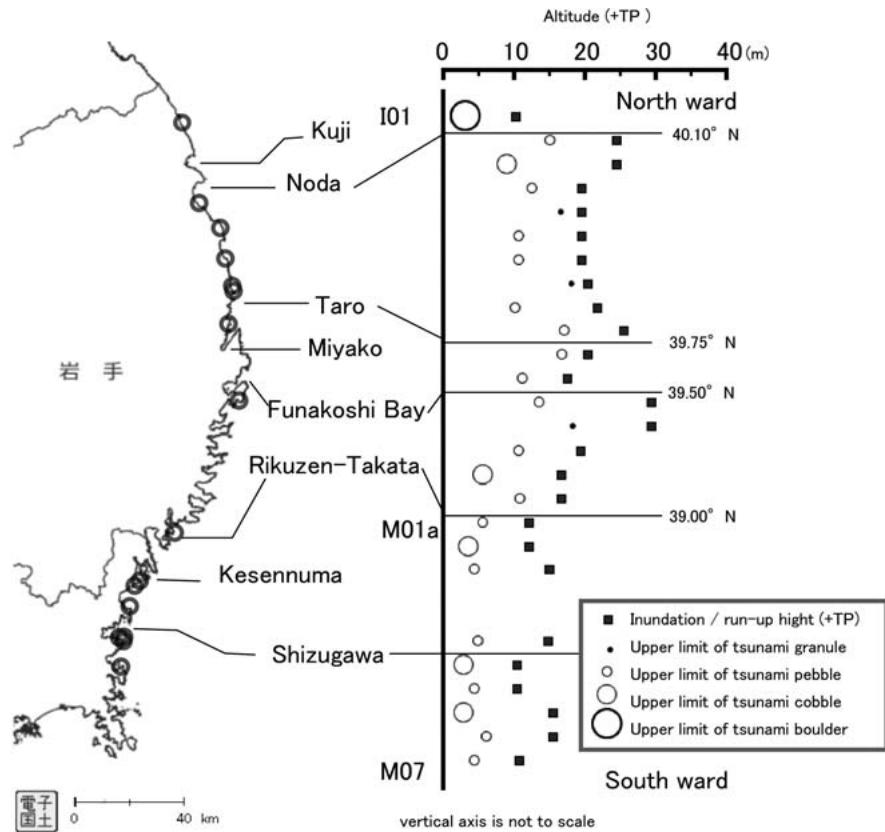
一方, 実際の津波で生じた礫質堆積物の報告例もきわめて少ない. Nanayama et al. (2000) は1993年北海道南西沖地震の際に形成された砂礫層の形成過程を明らかにしたが, 河川に沿う限定的なケースのものである. 古津波調査の対象を拡大する意味では, 礫浜や岩

礁海岸における調査が非常に重要 (後藤・箕浦, 2012) であるものの, 2011年東北地方太平洋沖地震津波後に実施された津波堆積物調査も多くが平野の砂質堆積物を扱っており (Goto et al., 2011など), 谷底の礫質堆積物の調査があるものの (山田ほか, 2011; 瀬尾・大串, 2012; Goto et al., 2012), 岩礁海岸や背後が斜面地形である礫浜における調査報告は見当たらない.

津波襲来後ほぼ2年経過した時点でその痕跡は不明瞭となりつつあるが, このような背景から, われわれは三陸沿岸の礫浜海岸を調査し, 巨大津波によって生じた礫質堆積物の特徴を記載・分類した. また既報の津波痕跡調査結果を参照し, 浸水深と礫質津波堆積物の分布高度の関係を整理した.

II 方法

2013年2月26日から3月2日にかけて, 岩手県^{ひろの}洋野町から宮城県石巻市^{おがつ}雄勝町の沿岸15地点を調査した (第1図). 地点の選定に当たっては, 震災前から人工改変が少なく自然地形が残されていると推定される礫浜海岸を, 浸水範囲が記された津波詳細地図 (原口・岩松, 2011) を参照して抽出した. 現地では浸水の痕跡が明らかな範囲で, 海浜由来の円磨された砂・礫の分布を



第1図 調査地域. a: 調査地点位置図, b: 礫質津波堆積物分布上限標高および津波痕跡標高.

Fig. 1 Study area. a: Location map of the study sites. b: Upper limits of tsunami gravel and run-up or inundation heights of the 2011 tsunami.

探索した. 認定に当たっては礫浜起源の構成物 (円磨度の高い礫, 貝殻など) が海岸から連続的に分布すること, および周囲のより高い場所に段丘堆積物などの円礫を含む地質が存在しないことを確認の上で, 津波堆積物であると判断した. 2011年津波の直後の浸水痕調査では, 浸水上限位置より低い場所で落枝および落葉層が失われていたとの報告がある (都司ほか, 2012) ことから, 植生の影響が強い場所 (斜面の杉林など) では, 落葉や落枝 (A0層) による被覆状態や埋没の程度などからも2011年津波イベントで打ち上げられた堆積物を認定した. 礫の大きさを中径でおおよそサイズ区分 (細礫 (2-4 mm), 中礫 (4-64 mm), 大礫 (64-256 mm) および巨礫 (256 mm 以上)) し, 汀線位置からの打ち上げ上限高度を傾斜角度計付レーザー距離計 (ニコン製: レーザー550AS) を用いて0.1 m単位で計測した. 計測した高度は近傍の潮位観測記録 (気象庁ウェブ: 潮汐観測資料 (速報値)); 久慈, 宮古, 大船渡, 鮎川) から潮位補正し, 標高値とした. 調査地点近傍の津波の痕跡高は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2012) の調査結果を参照し, 痕跡高 (height from TP [m]) と海浜由来の礫質津波堆積物の分布上限高度との差高を浸水深 (0.1 m 未満四捨五入) とした. なお参照するデータの選定にあつ

ては, 近傍であるかどうかだけでなく, 地形の類似性も合わせて考慮して選定した. 地形測量をおこなった地点では現地測量に加えて, 国土地理院提供の災害復興計画基図 (1/1000縮尺, 2 m (一部1 m) 等高線), 基盤地図情報 (数値標高モデル, 5 m メッシュ (標高)) を利用して背後の地形データを補い, 地形断面図を作成した.

III 結 果

III.1 礫質津波堆積物の記載

礫質津波堆積物は, 1) 段丘面・段丘崖, 2) 谷壁斜面・崖錐, 3) 岩盤からなる崖の岩棚および割れ目, および4) 谷底などの低地に分布する. そこで堆積場の地形状況を基準にそれぞれ1) 段丘タイプ, 2) 崖錐・斜面タイプ, 3) 岩棚タイプおよび4) 低地タイプに区分した. なお, 先に述べた低地の発達しない沿岸域への適用する目的であること, および谷底の津波堆積物については既報 (山田ほか, 2011など) があることから, 低地タイプについて今回は検討しない. 調査地点毎のタイプ区分, 堆積物のサイズ, 海浜礫の打ち上げ上限標高と汀線距離, 前面の海岸堆積物のサイズ, な

らびに浸水深等は付表1にまとめた。

以下に各調査地点での産状を詳しく記述する。なお地点名に続く津波遡上標高ないし浸水標高と記号は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)による測定値ならびに測定地点の番号である。

I01：岩手県洋野町種市宿戸 (段丘タイプ, 付図1)
(津波遡上標高:10.7 m (IWTP-0040))

高さ4-6 mの海岸段丘の前縁。海岸は礫浜で大礫から巨礫からなる(付図1c)。波食棚が幅約150 mで沿岸に分布している。段丘を取り巻くように土釜川が流下しているため、津波は段丘を越流し内陸側に約300 m浸水した(原口・岩松(2011)より読図)。段丘面の海側の縁辺に人頭大の巨礫(円礫)が認められた(付図1d)。また石積用に加工された石材(間知石)が混在しており、漁業者からの聞き取りでは海藻・海草の増殖のために波蝕棚に石垣を積んでいたが、石垣の石材の多くが津波で遡上した。巨礫サイズの礫の最大分布標高は3.1 mであった。積雪のため大礫サイズ以下の礫の分布は明らかにできなかった。

I02：岩手県洋野町種市鹿糠 (段丘タイプ, 付図2)
(津波遡上標高:7.9 m (IWTP-0030))

和座川河口北岸、段丘崖およびその末端部の高度4-6 mの緩傾斜面のビーチとの境界縁辺に大礫が打ち上げられていた(付図2d)。円弧上のビーチは大礫から構成され、南部では海食崖が露出しているのに対し北部ではバーム(汀段: berm)高が高くバームの内側斜面は後背地形に連続する。後浜背後の林内には漂着物や樹木の損傷といった津波痕跡が多数存在した。段丘斜面上の林床で円礫を確認したが、積雪が存在したため礫の分布上限は確認できず高度測定はおこなわなかった。

I03a, b：岩手県野田村米田 (段丘タイプ, 付図3)
(津波遡上標高:24.4 m (IWTP-0142))

海岸に面した地すべり地。地すべりのステップ地形のうち中位の段(標高9.2 m)の縁に、扁平で穿孔具による穿孔痕のある大礫(中軸15 cm)が認められた(I03a, 付図3c)。さらに副次崖を越えた上位の緩斜面(15.2 m)において中礫の最大遡上を認めた(I03b, 付図3d)。なお頭部滑落崖下の緩斜面上には堆積物が存在するが、それより傾斜の大きい副次崖には堆積物は認められなかった。

I04a, b：岩手県田野畑村北山机浜 (付図4)
(津波遡上標高:19.7 m (ERIX-0277))

崩壊跡地の段丘状地 (I04a) (段丘タイプ)

谷幅約70 mの谷の左岸、古い崩壊地の崩積土が段丘状をなしている緩斜面(標高12-16 m)(付図4 b, d)。谷にそって約700 m上流まで侵入した津波流の経路にあたる(原口・岩松(2011)より読図)。緩斜面の林床に13 cmの厚さの細礫~中礫層を確認した(付図4 e)。礫は円礫であり、クラストサポートでマトリクス

をほとんど含まない。円磨された礫の分布は斜面の傾斜が急傾斜になる付近でせん滅した。細礫が存在したもっとも高い標高は16.5 mであり、汀線距離は約240 mであった。

海岸に面した崖錐 (I04b) (崖錐・斜面タイプ)

調査地の海岸は礫浜背後に高さ25 mを超える岩頭および岩壁が存在し、稜が支柱状に派生している(付図4f)。こうした稜の間に崖錐(バットレス状の崖錐)が存在する。崖錐堆積物は主に角礫からなるが、円磨された大礫とアワビの貝殻が混在していた(付図4 g)。岸壁面の植生の根元に海浜由来の円磨された中礫が存在し、その最大分布標高は12.5 mであった。

I05a, b：岩手県田野畑村切牛真木沢海岸

(崖錐・斜面タイプおよび岩棚タイプ, 付図5)
(津波浸水標高:19.6 m (HKDS-0125))

谷幅170 mの谷の河口付近。津波は河口より約1,500 m上流まで遡上した(原口・岩松(2011)より読図)。南側から流下する支谷末端に沖積錐が発達する。この支谷左岸側(西側)の尾根部の露岩域(汀線から110 m)を調査した(付図5 a, b)。露岩の裂か部では崖錐堆積物として角礫と円礫が混合して存在していた(I05 a, 崖錐・斜面タイプ)(付図5 c)。露岩の岩棚上には円礫の分布を認めた(I05b, 岩棚タイプ, 標高10.7 m)(付図5 d)。

I06a, b：岩手県田老町和野

(段丘タイプ, 崖錐・斜面タイプ, 付図6)

(南側:津波遡上標高:21.4 m (IWTP-0254), 北側津波遡上標高:20.4 m (IWTP-0255))

谷幅140 mの沖積谷右岸側の北向き支谷(I06a, 汀線距離130 m)(付図6 a, c), および左岸側の南向き斜面(I06b, 汀線距離100 m)。津波は河口より約700 m上流まで遡上した(原口・岩松(2011)より読図)。支谷の河口部の両岸は稜線が海岸に接して急崖となっている。支谷および斜面ともに末端に沖積錐が発達するが、支谷底の末端は侵食により段化し主谷とは不連続となっている。支谷底の表面には円礫を混じえる中礫サイズの角礫が堆積・散在していた。支谷底における円磨された中礫のもっとも高い分布は標高10.1 mである(段丘タイプ)。段化した断面では有機質な層に挟まれた角礫層のユニットが複数認められた。一方、沖積谷左岸の南向き斜面では、標高18.0 mの林床に角礫に混じって堆積する円磨された細礫を認めた(付図6 d)(崖錐・斜面タイプ)。

I07：岩手県田老町真崎

(崖錐・斜面タイプ, 付図7)

(津波遡上標高:25.4 m (IWTP-0251))

小港漁港南側の地形的鞍部(標高15.5 m)にあたり、津波は鞍部を越流した。鞍部では堆積物は稀であったが、東側の斜面では角礫に混じる円礫が認められた。中礫サイズの礫の最大標高は17.0 mであった。

I08a, b: 岩手県宮古市日出島
(段丘タイプ, 付図8)

I08a: 段丘面 (津波遡上標高:17.6 m (IWTP-0290))
漁港の背後に標高8-20 mの緩斜面が分布しており, 下方末端は約5 mの急崖となっている(付図8 b). 緩斜面上の標高11.1 mの畑の上面で円礫(中礫サイズ)を認めた.

I08b: 尾根の鞍部 (津波遡上標高:20.5 m (IWTP-0292))

海に向かい突出した尾根の鞍部に平坦地(標高14-18 m)が存在する(付図8c). 平坦面上の土壌上面に貝殻混じりの円磨された細礫および中礫が認められた(付図8 d). 中礫の最大標高は16.7 mであった.

I09a, b, c: 岩手県山田町小谷島
(崖錐・斜面タイプ, 付図9)

(津波遡上標高:海側19.4 m (IWTP-0511), 内陸側29.3 m (IWTP-0512))

海岸の堆積物は細礫を主体としている. 津波は谷幅380 mのやや広い沖積谷の谷低を, 内陸側に1100 m遡上した(原口・岩松(2011)より読図). 沖積谷右岸側の海岸に面した斜面は, 侵食され植生が失われていた(I09a, 付図9 b). 露出した岩の基部や中部の岩棚(10.6 m)に角礫が堆積しており, 円礫が混在していた(付図9 c). 内陸側へ約250 m入った支谷底では角礫に混じる円磨された中礫(I09b, 標高13.6 m)(付図9 d)を, 支谷斜面では標高18.2 mの場所で円磨された細礫を認めた(I09c, 付図9 f). 角礫に混合する円礫は, 海岸から離れるほど, また高位置であるほど細粒化したが, 角礫は円礫の分布上限より高い位置に, そしてより内陸側まで分布していた.

I10a, b: 岩手県大船渡市末崎大浜碁石浜海岸
(段丘タイプ, 崖錐・斜面タイプ, 付図10)
(津波遡上標高:海側16.8 m (IWTP-0773))

海に突き出た岩礁で囲まれた長さ約200 mのポケットビーチで, 海岸の堆積物は中礫を主体とする. 海岸の背後は急傾斜(約30度)をなす岩盤斜面からなるが, 斜面の末端に斜面堆積物が断続的に発達して幅2 mほどの緩斜面をなす. その前面は高さ0.6 mの海食崖となっている(付図10 c). 緩斜面にはササが, 岩盤斜面にはクロマツが生えており, 笹の根元(標高5.7 m)にトラップされる状態で大礫(段丘タイプ, 付図10 d)が, 松の根元(標高10.9 m)には中礫(崖錐・斜面タイプ)が認められた.

M01a, b: 宮城県気仙沼市波路上岩井崎
(段丘タイプ, 付図11)
(津波浸水標高:12.2 m (RYKU-0032))

気仙沼湾の湾口部に位置し, 上面は標高4-8 mの段丘面をなす. 周囲は岩礁が取り囲んでいる. 岩礁の背後に幅約20 mの礫浜が存在し, 後浜は大礫を主とする. 段丘面の縁に幅の狭い緩斜面が存在し, その下方

の末端は0.5 mの海食崖となっている(付図11 b). 緩傾斜面上には大礫が散在しており(付図11 c), 緩斜面末端付近で礫の分布密度が高く, とりわけ凹地に集中していた. 緩斜面における大礫の最大分布標高は3.6 mであり, 頂面の縁辺(標高5.7 m)が中礫の存在した最高分布位置であった(付図11 d). 緩斜面では土中に埋没し頂部のみ露出している大礫が多数存在したが, 埋没の程度からこれらは2011年のイベントによるものではないと判断した.

M02a, b, c: 宮城県気仙沼市本吉町大谷館鼻崎
(付図12) (津波遡上標高:15.1 m (RYKU-0030))

M02a: 段丘 (段丘タイプ)

館鼻崎の北方, 東側を海に面する海浜で南部は段丘に接する. 海浜堆積物は砂から巨礫(人頭大)まで認められるが, 中礫を主体とする. 標高7-8 mの段丘縁辺に標高2-4 mの緩斜面が存在し, 礫浜との境界は約2 mの崖となっている(付図12 b). 段丘面上面の縁辺(標高7.3 m)に中礫とアワビの貝殻を認めた(付図12 c).

(参照データ) **M02b, c: 浸水防止フレコンバック**

海浜には, 浸水防止のため高さ1 mのフレコンバックが2段に積み並べられており, その上面に打ち上げられた礫を認めた. 上段(標高4.4 m)で中礫を, 下段(標高3.4 m)では大礫を認めた(付図12). これらは震災後に施工(2011年8月)されたものであり, 上面の礫は施工以降のストームの作用で打ち上げられたものである.

M03: 宮城県南三陸町末の崎
(岩棚タイプ, 付図13)

(津波遡上標高:14.9 m (ERIX-0081))

リアス式海岸の突出部に当たる. 後浜は粘板岩の扁平な大礫を主体とする. 海浜の幅は狭く背後は岩壁である. 岩壁の割れ目を充填するものや, 岩棚に載った状態の円磨された大礫が認められ(付図13 c), 標高5.0 mに最も高い位置の中礫を認めた(第14図 d).

M04a, b: 宮城県南三陸町戸倉下道

(段丘タイプ, 岩棚タイプ; 付図14)

(津波浸水標高:10.5 m (UTCE-0005))

長さ120 mのポケットビーチ, 奥行き10 mほどの礫浜で後浜は大礫を主体とする. 後浜の背後は露岩域とシルト質な堆積物がつくる平坦面(2-4 m)からなり, 平坦面の末端は約1 mの海食崖である. 津波によって移動した海浜礫の最大分布標高として平坦面の末端(標高3.0 m)で大礫を(段丘タイプ, 付図14 b), 露岩の岩棚(標高4.5 m)で中礫の認められた(岩棚タイプ, 付図14 c, d).

M05a, b: 宮城県南三陸町戸倉寺浜神割崎
(段丘タイプ, 付図15)

(津波遡上標高:15.5 m (KGSU-0021))

M05a: 母恋岬

二つの岩礁で遮蔽された長さ約70 m、幅10 m程の礫浜のポケットビーチ。海浜前面の沖合150 mに島があり遮蔽性の高い区域となっている。後浜は扁平な大礫を主とする。段丘を開析した小谷を埋める堆積物の末端が海食崖となっている（付図15c）が、一部でバーム背後の面と谷底面の連続する箇所がある。汀線距離15 mの谷底まで大礫が分布し、遡上流方向のインプリケーションを認めた。礫の存在した最大分布標高は3.0 mであった。

M05b：キャンプ場の浜

長さ約140 m幅約10–15 mの礫浜。背後は段丘崖であり崖の下部末端に斜面堆積物がつくる緩傾斜面が存在し、後浜との境界は最大2 mほどの海食崖となっている（付図15 d）。後浜は大礫を主体とするが、浜の幅が狭いところでは巨礫（人頭大）が卓越する。海食崖の上位の緩斜面に大礫が散在し、縁辺で密度が高い。段丘崖斜面の標高6.1 mの地点が中礫の最大標高であった。

M06：石巻市雄勝町船越荒浜

（岩棚タイプ、付図16）

（津波遡上標高：10.9 m（YNUE-0036））

主として岩礁の地点。汀線に露岩が点在し岩礁の隙間に大礫・巨礫が堆積する礫浜が認められる。海岸の背後は露岩の急斜面や崩壊地であり、露岩の割れ目にはまり込む亜円礫を認めた（付図 b）。中礫の存在した最大分布標高は4.5 mであった。

III.2 礫質津波堆積物のタイプごとの特徴

段丘、崖錐・斜面、および岩棚それぞれのタイプ別の特徴は次のとおり整理される。

段丘タイプ

海成段丘（I01；I08a,b；M01b；M02a）、斜面末端の緩斜面（I08a；M01a；M04a；M05a,b；M06）、崩壊地末端の緩斜面（I04a）、地すべりのステップ（I03 a, b）、および海岸に近接する支谷低の末端（I06a）に認められた礫質津波堆積物を本タイプに分類した。末端が海食崖となっているところでは、その直上の狭い範囲（数 m 以内）に分布し、陸側への広がりは一時的である。上面に凹部があるとそこに集中する傾向があり（M01a, M06）、海食崖の位置が陸側に入り込んでいる箇所では遡上した礫の個数が多かった（I01）。そもそも海食崖上面の凹部の一部は戻り流れによる侵食痕と推定され、面を構成する地層中の礫が露出している場合（M01, M05a）もあった。堆積構造は遡上方向の覆瓦状構造が認められる場合（M05a）や、弱い上方細粒化が認められる場合（I04a）があった。海岸からの経路上に侵食された斜面が存在した支谷では角礫が混じる（I06a）。海浜と高度差が小さい、ないしはバームとその背後の斜面が地形的に連続する地点では、津波イベントによる礫とストームにより打ち上げ

られた礫との区別は困難である（I02）。

崖錐・斜面タイプ

崖錐（I04b, I05a, I09a）や斜面上（I06b；I07；I09b, c；I08b）に堆積したものを本タイプに分類した。主に谷壁斜面と同質の角礫から構成され、円礫が混在する。これらの礫には亜円礫～亜角礫などの中間的な円磨度のものが存在せず、明瞭に識別できた。海岸に近い場所では円磨された礫の割合が大きく、高度が高い位置では粒径が小さくなる。角礫には円礫のような傾向は認められず、谷壁斜面を覆っていた表層の土層が起源と考えられる。角礫のみからなる斜面上の津波堆積物は津波石とともに八木下（2000, 2001）によって報告されており、田老町和野（I06a）での地層中にも古津波の痕跡として存在していることを確認した。バットレス状の崖錐でも角礫の岩屑中に円磨された礫が混在した。

岩棚タイプ

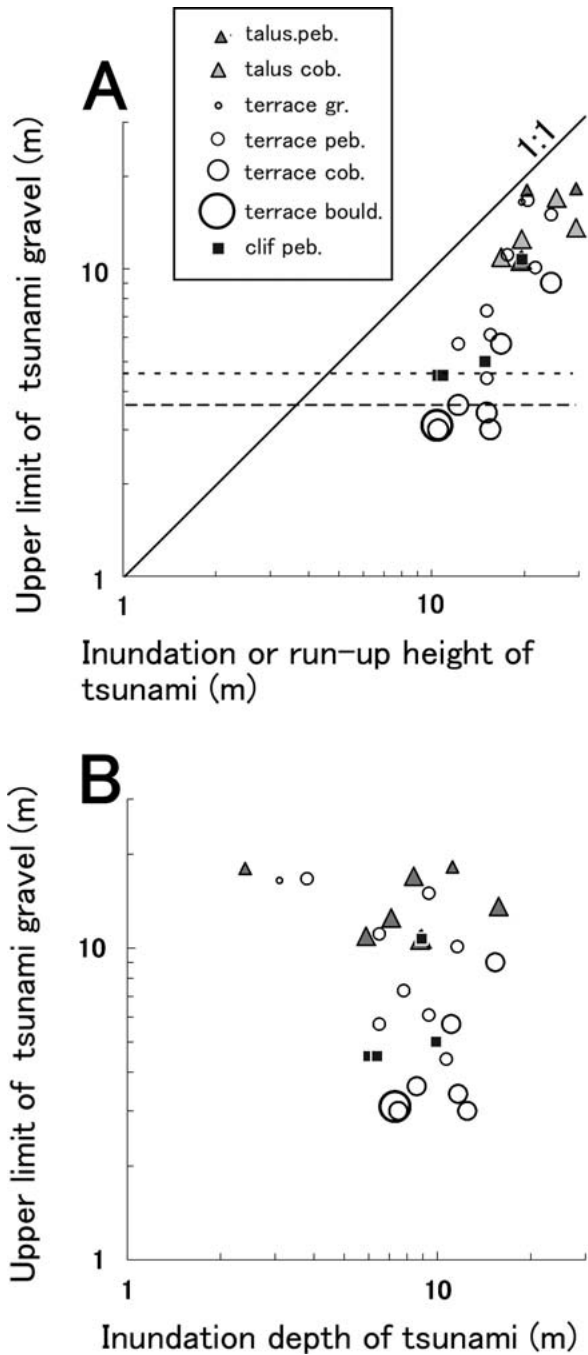
露岩の節理に沿って形成された岩棚や割れ目に堆積したもの（I05b, M03, M04b, M07）を本タイプに分類した。岩棚幅が礫サイズと同等の場合はそのサイズに積載できる礫の大きさが規制される。露岩上部の植生に捕獲された円礫も認められた。

IV 考察

IV.1 礫質津波堆積物の高さ分布と、対応する浸水深

調査地の礫質津波堆積物の分布上限標高は3.0–18.6 mであり、調査地点の津波浸水深ないし遡上高（標高補正）は約11 mから30 mの範囲であった（第1図）。津波波高が特に高かった範囲は、三陸中部の陸前高田から船越湾（39.00–39.50° N）、三陸北部の田老から野田村（39.75–40.10° N）である（Mori, 2012）。これらの津波波高のとりわけ大きかった地域では礫質津波堆積物の同サイズの礫の最大分布標高も高く、津波波高と礫質津波堆積物の分布上限標高との関係には対応が認められる（第1図）。

タイプ別およびサイズ別の礫質堆積物の分布上限標高と津波痕跡標高を第2図 A に、浸水深（礫が存在した位置における津波の深さの最大水深の推定値）との関係を第2図 B に示す。なお、ここでは海浜に由来すると判断できた円礫のみを対象としている。円礫を含まない崖錐タイプの津波堆積物はさらに高い位置に存在するものもあったが、高度を測定していないため検討から除外している。サイズ別では細礫（n=3）が標高18.2 m、中礫（n=18）が16.7 m、大礫（n=5）が9.0 m、そして巨礫は1例（I01）で3.1 mであった。浸水深の最小値と最大値は、細礫がそれぞれ2.4, 11.1 m、中礫が3.8, 15.7 m、大礫が7.5, 15.4 m、そして巨礫は7.3 m（I01）であった。礫質堆積物の分布標高と津波痕



第2図 津波によってもたらされた円礫サイズおよびタイプ別の分布上限標高と津波痕跡標高 (A), および浸水深 (B) との関係。A 図中の点線および破線はストームによって打ち上げられた礫の標高を示す (M02b)。

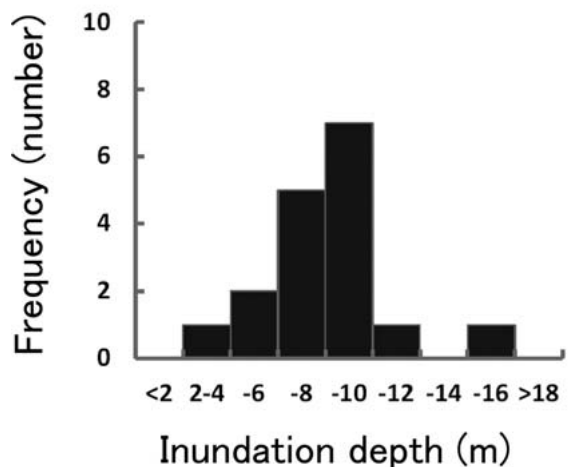
Fig. 2 Relationships between upper limit of well-rounded gravel transported by the 2011 tsunami and tsunami run-up or inundation heights (A), and between the upper limit and inundation depth (B) in each size and classification. Dotted line and dashed line in fig. 2a indicate the altitude of the gravel tossed up by storm events at M02b.

跡高ならびに浸水深の関係は礫サイズごとに異なり, 小さな礫ほど高所に位置し (第2図 A), 大きな礫ほど深い浸水深を示した (第2図 B). これは砂質津波堆積物の内陸側への細粒化と同様に, 津波の高さによる礫の運搬能力の差を示していると解釈できる. すなわち高い津波はより高い位置に礫の痕跡を残し得るし, より大きなサイズの礫を残し得る. こうした標高に応じて海岸由来の礫が細粒化する現象はハワイ, モロカイ島の石灰岩からなる津波イベントに由来する礫においても認められており, 標高72 mの高さまで分布する石灰岩礫の分級が, 一度の巨大津波プロセスで形成されたと解釈されている (Moore, 2000). また津波イベントで運搬された海岸由来の大きなサイズの円礫は, たとえそれが標高の低い地点に堆積していたとしても大きな津波の痕跡であることを示している.

同サイズの礫で地形タイプごとの分布高度を比較すると, 崖錐タイプがほかのタイプよりも高いことが示される (第2図 A). 岩棚タイプは他の2タイプよりも低い分布を示すが, 直立した岸壁では鉛直方向の探索範囲が限定されたことから, より高所に存在する礫が未確認である可能性は否定できない.

次に中礫の浸水深の分布 (第3図) をみると, 汀線距離が大きかった1点 (109a: 海岸線から260 m) の外れ値をのぞき2-12 m に限られ, 最頻値は8-10 mであった.

これらの分布標高および浸水深に関する観察結果は, 地層中の礫質堆積物から古津波の浸水深を復元する際に有効と考えられる. さらに, 低地において津波砂層の分布範囲から過去の津波高を復元するためには, 当時の海岸線位置や地形といった古地理を復元する必要があるが, 海岸低地に比べて急傾斜の海岸では海水準の変化による海岸線の移動距離が小さいため, 古地形



第3図 中礫の上限位置における浸水深の頻度分布。
Fig. 3 Frequency distribution of the inundation depth at the upper limit of pebbles tossed up by the 2011 tsunami.

を想定・復元をしやすい利点がある。ただし斜面上に堆積したものは、時間の経過とともに原位置よりも下方に移動する可能性があることに留意する必要がある。

IV.2 礫質津波堆積物の特徴とイベント認定の課題

津波堆積物を認定するには現行のストームの作用で形成されたイベント層との区別が課題となる。これらの区分の基準と、本調査の礫質津波堆積物の特徴を比較し検討する。

Nanayama et al. (2000) は津波イベント堆積物とストームイベント堆積物との特徴を比較し、津波堆積物は遡上流と戻り流の双方向の流向を示すこと、ストームに起因する堆積物に比べて淘汰が悪いことを指摘した。人工物の瓦礫などの様々な物質と円磨度やサイズの異なる礫が混在するカオス的な礫質堆積物 (Bruins et al, 2008) もまた津波イベント堆積物として記載されているが、今回認められた礫質津波堆積物には明瞭な堆積構造は認められず、それらの多くはマトリクスに乏しく淘汰が比較的良好な例が多かった。このことは、調査地点の背後に奥行きのある谷や平野が存在せず陸側からの戻り流れの作用が少なかったためと、供給された物質の給源が単純であったためと考えられる。

イベント礫の分布する高度も、津波起源かストーム起源かを識別する手掛かりとなる。Nichol et al. (2003) は砂丘上の礫がストームの作用しえない高度に存在していることを根拠の一つとして、津波礫を認定している。気仙沼市館鼻崎海岸では震災後に施工されたフレコンバッグ (大型土嚢) の上面には約1年半のストームイベントによって打ち上げられた海浜由来の礫を認めた。それぞれの最大サイズは中段 (3.4 m) で大礫、上段 (4.4 m) では中礫であり (第2図 A, 点線と破線)、周年のストームの影響を示している。さらに長期間のストームの作用の指標として、三陸沿岸における波浪の指標として海岸保全施設の海岸侵食に対する防護水準を参照すると、最大で標高6.8 m (岩手県玉川海岸: 岩手県, web) であり、上述の館鼻崎海岸付近の大谷海岸では4.5 m であった (宮城県, web)。これらのことは、周年から50年確率のストームによる礫質堆積物の打ち上げ高さが、津波起源とした礫質堆積物の分布標高の最低値と同程度であり、地形条件によっては周年の堆積物と津波堆積物が区分ができないケースがあることやストームによる段丘上の礫の移動 (Fichaut and Suanez, 2011) が起こりうることを示している。

IV.3 地震による地殻変動や津波による地形改変の影響

段丘タイプの海食崖では、その基部にストームの際の漂着物があったり崖自体が波食作用を受けているにもかかわらず、段丘面上の堆積物は砂礫を含まない有機質な土層からなり、ストームによる砂礫が到達していない地点が多くあった (M01a; M04b; M05a,b; M

06)。このような地点では正常時の堆積過程では砂礫がもたらされることがないという事実から、遡上した礫を津波起源として認定できる。しかし、地震イベントに伴う地殻変動 (沈降と余効変動による上昇) や津波による礫浜地形 (バーム高や分布位置) の変化によっても、ストーム時に遡上し得る礫の分布高度が変化する可能性も考慮しなければならない。たとえば地盤の沈下の例としては、2011年の地震にともない女川で107.6 cm の地盤沈下が生じた後、2年後には24.5 cm 回復している (「M 牡鹿」地点: 国土地理院, 2013)。こうした一時的な沈降は、波浪の作用が及ばなかった地点を一時的に波浪の影響下におくことになり、沈降していた期間の波浪イベントを堆積物として記録する可能性がある。

礫浜地形の変形例としては、ポケットビーチにおける沿岸方向での礫分布に偏りが認められたことがあげられる (I02; M05a,b)。これらのビーチの片側には海食崖が露出して不連続な地形面を形成しているのに対して、もう一方の側では海食崖が存在せず、相対的に高いバームが存在した。バームの頂点からは陸側に向かって礫が緩やかな傾斜面を形成し、不連続な地形面は存在しなかった。礫浜背後の地形面にはポケットビーチの狭い範囲では高度に著しい違いがないことから、こうした礫分布の偏りは季節的ないしは津波による沿岸方向の流れによって形成された一時的なものと考えられる。このような偏りは、いずれ波浪の作用により解消するものと推定される。このような海食崖の存在しないビーチでは、季節的なストームによっても陸側に礫が運搬されうるが、礫の偏りが解消されれば定常のストームでは海食崖の段差を超えて礫はもたらされないと推測される。このように地震に関連した地盤変動および地形変形に起因するイベント堆積物ではあるが、津波の流れによって直接に運搬されていないイベント堆積物が形成される場合が考えられ、イベント堆積物の解釈にあたって大きな問題となるであろう。

IV.4 今後の課題

斜面形状の影響

岩礁や礫浜背後のイベント堆積物を形成する作用を考察する上で、打ち上がる後浜地形の形状が重要である。礫が転動や滑動によって運搬される場合には段差は移動の大きな障害となる。さらに段によって生じる波や乱流も礫の運搬に影響を与えられことから、一様な斜面と段差があるケースとで、津波とストームのそれぞれが礫を陸側に運搬する作用を検討し、その違いを整理する必要がある。

円礫を含まない津波堆積物

今回、分布高度を記載したのは海浜に由来することが明らかな円磨された礫のみである。海浜礫が遡上し得なかった高い場所や、海岸から離れた内陸に存在し

た角礫のみからなる礫質堆積物と側谷斜面の侵食痕の存在は、数百年間隔で繰り返し来襲するカタストロフィックな津波イベントがもたらす侵食と堆積作用が、三陸沿岸の地形形成を支配していることを示す (Baker et al., 2011)。こうした侵食地形とそれに対応する堆積物を津波イベント堆積物として地層中から認定することができれば、古津波イベントの探索範囲が格段に拡大されることが期待される。

V ま と め

2011年東北地方太平洋沖地震による津波が襲来した三陸沿岸において岩礁や礫浜の背後を調査し、海浜由来の細礫を最大で標高18.2 mの崖錐斜面上で確認したことをはじめ、従来記載のなかった場所で礫質津波堆積物を認めた。これらのうち地層中に保存される堆積物は、過去の津波イベントによって生じた同様の津波堆積物を地層中から探索する際の指標として役立つだろう。今回示した海浜由来の礫サイズと浸水深との関係、および中礫サイズの礫質津波堆積物が示す浸水深は、古津波の規模を推定する際に有効である。しかしながら、さらに詳細な津波波高や津波に伴う流れを復元するには、礫のおおまかなサイズ区分といった堆積物の記載では不十分であったことは否めない。本成果によってさらなる礫質津波堆積物の研究がなされ、古津波の特性把握を通じて津波防災に資することを期待する。

謝 辞

調査地の選定にあたって平川一臣北海道大学名誉教授の助言をいただいた。記してお礼申し上げる。本報で用いた津波痕跡高データは次の機関による。ERIX：東大地震研；IWTP：岩手県土木部；MYGP：宮城県土木部；RYKU：神戸大合同調査グループ；UTC：東大；KGSU：鹿児島大；YNUA：横浜国大。加えて、すべての津波浸水痕跡の調査およびデータ取りまとめ、公開にかかわった方々の尽力に敬意を表し感謝する。本稿の英文は当所地域地質部渡邊達也博士に校閲いただいた。感謝申し上げます。

文 献

- Baker, V. R., Goto, K., Komatsu, G., Matsui, T., Mcguire, L., Oguchi, T. & Pelletier, J. D. (2011): Catastrophic geomorphic effects of the 11 March 2011 Tohoku-Oki Tsunami, Sanriku coastline, northeastern Honshu, Japan. In AGU Fall Meeting Abstracts, **1**, 6.
- Bruins, H. J., MacGillivray, J. A., Synolakis, C. E., Benjamini, C., Keller, J., Kisch, H. J., Klügel, A. & Van Der Plicht, J. (2008): Geoarchaeological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini. *Journal of Archaeological Science*, **35**, 191–212.
- Fichaut, B. & Suarez, S. (2011): Quarrying, transport and deposition of cliff-top storm deposits during extreme events: Banneg Island, Brittany. *Marine Geology*, **283**, 36–55.
- Goto, K., Chagué-Goff, C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczucinski, W., Tappin, D. R., Witter, R. & Yulianto, E. (2011): New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. *Marine Geology*, **290**, 46–50.
- Goto, K., Chagué-Goff, C., Goff, J. & Jaffe, B. (2012): The future of tsunami research following the 2011 Tohoku-oki event. *Sedimentary Geology*, **282**, 1–13.
- 後藤和久・箕浦幸治 (2012): 2011年東北地方太平洋沖地震津波に立った津波堆積学の今後のあり方。堆積学研究, **71**, 105–117.
- 気象庁 (web): 潮汐観測資料 (速報値). <http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/sokuho/index.php> (2013/4/11アクセス)
- 国土地理院 (2013): 特集・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震から2年. http://mekira.gsi.go.jp/JAPANESE/h23_touhoku_2years.html#geonet_postseismic. (2013/4/11アクセス)
- 原口 強・岩松 暉 (2011): 東日本大震災津波詳細地図上巻 [青森・岩手・宮城]. 古今書院, 東京, 168p.
- 平川一臣 (2012): 千島海溝・日本海溝の超巨大津波履歴とその意味: 仮説的検討. *科学*, **82**, 172–181.
- 岩手県 (web): 海岸保全基本計画. <http://www.pref.iwate.jp/view.rbz?nd=2251&of=1&ik=3&pnp=17&pnp=66&pnp=782&pnp=2251&cd=5934>. (2013/4/11アクセス)
- 宮城県 (web): 宮城県海岸保全基本計画 (宮城県). <http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kasen/ka-sanrikuminami.html>. (2013/4/11アクセス)
- Moore, A. L. (2000): Landward fining in onshore gravel as evidence for a late Pleistocene tsunami on Molokai, Hawaii. *Geology*, **28**, 247–250.
- Mori, N., Takahashi, T. & THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE TSUNAMI JOINT SURVEY GROUP. (2012): Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku earthquake tsunami. *Coastal Engineering Journal*, **54**, 1250001–1–27.
- Nanayama, F., Shigeno, K., Satake, K., Shimokawa, K., Koitabashi, S., Miyasaka, S. & Ishii, M. (2000): Sedimentary differences between the 1993 Hokkaido-nansei-oki tsunami and the 1959 Miyakojima typhoon at Taisei, southwestern Hokkaido, northern Japan. *Sedimentary Geology*, **135**, 255–264.
- 七山 太・重野聖之・添田雄二・古川竜太・岡橋久世・斎藤健一・横山芳春・佐竹健治・中川 充, (2003): 北海道東部, 十勝海岸南部地域における17世の津波痕跡とその遡上規模の評価. 活断層・古地震研究報告, **3**, 297–314.
- Nichol, S. L., Lian, O. B. & Carter, C. H. (2003): Sheet-gravel evidence for a late Holocene tsunami run-up on beach dunes, Great Barrier

Island, New Zealand. *Sedimentary Geology*, **155**, 129–145.

瀬尾菜々美・大串健一 (2012): 岩手県普代川河口域に遡上した津波堆積物の予察的調査報告. 神戸大学大学院人間開発環境学研究科 研究紀要, **5**, 157–164.

東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2012): 統一調査データ. (tjt_survey_29-Dec-2012_tidecorrected_web.csv)
都司嘉宣・佐竹健治・石辺岳男・楠本 聡・原田智也・西山昭仁・金 幸隆・上野俊洋・室谷智子・大木聖子・杉本めぐみ・泊 次郎・Mohammad Heidarzadeh・綿田辰吾・今井健太郎・Byung HoChoi・Sung Bum Yoon・Jae Seok Bae・Kyeong Ok Kim・Hyun Woo Kim (2012): 2011年東北地方太平洋沖地震の津波高調査. 東京大学地震研究所彙報, **86**, 29–279.

八木下晃司 (2000): 津波による礫層の形成過程. 地学雑誌, **109**, 770–773.

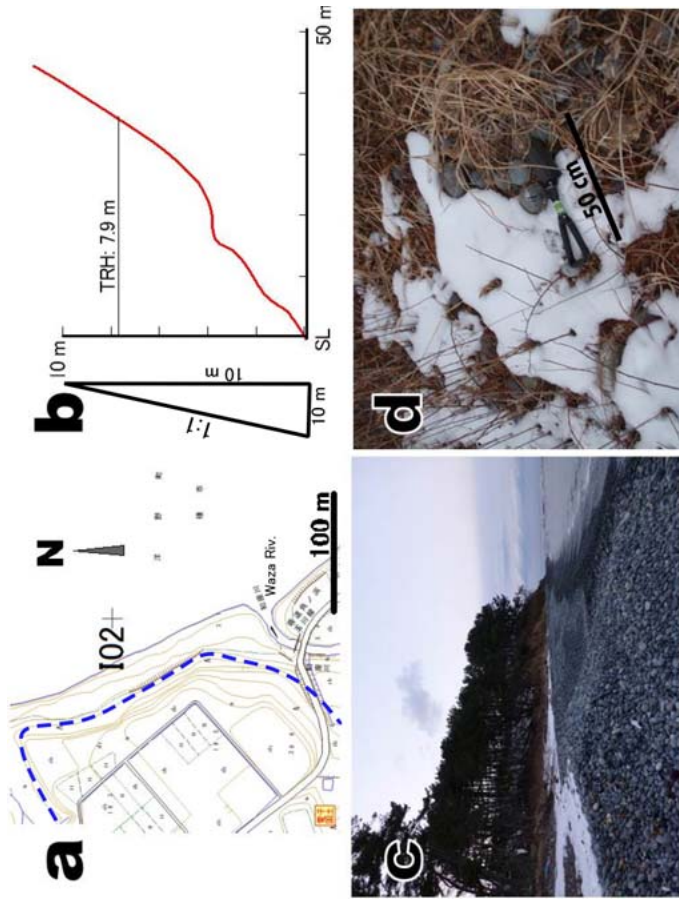
八木下晃司 (2001): 津波による礫堆積物の運搬および堆積—岩手県合足海岸の例—. 地学雑誌, **110**, 689–697.

山田昌樹・藤野滋弘・後藤和久 (2011): 巨礫の位置・大きさから分かる津波の挙動と陸上礫質津波堆積物の関係. 日本堆積学会大会プログラム・講演要旨, 45–46.

付表1 調査結果一覧
Appended table 1 Summary of field observations.

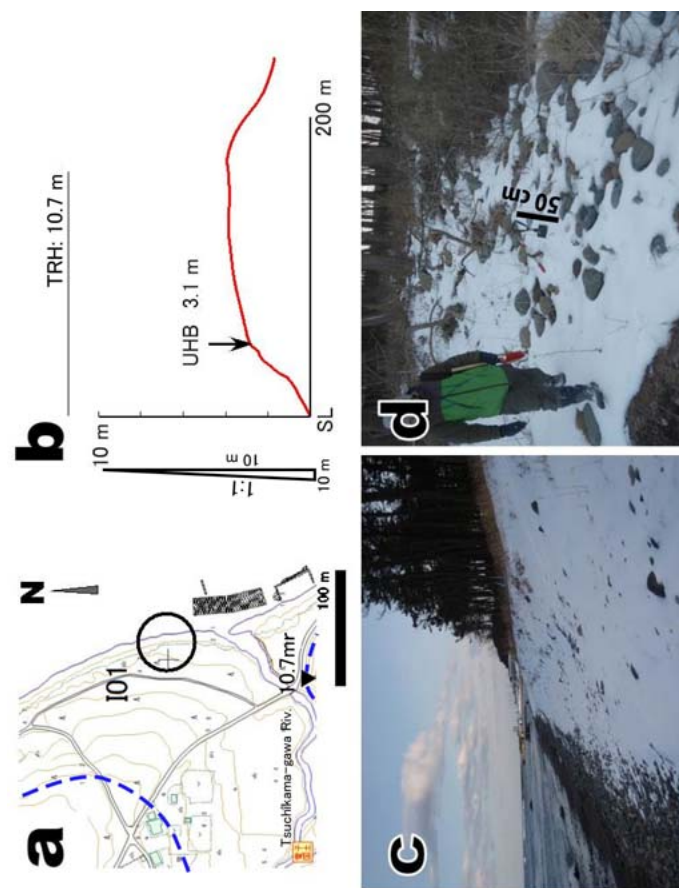
ID	Survey point	Lat. (N. deg.)	Lon. (E. deg.)	Type of tsunami gravel	Gravel size	Upper limit elevation(m+P)	Inundation depth (m)	Distance from the shore(m)	Shore deposit	Inundation or run-up height of the tsunami wave (±TP, m)	Type of tsunami trace	ID of the tsunami research team
I01	岩手県洋野町第7地割 宿戸漁港海岸	40.37436111	141.74905556	terrace	boulder	3.1	7.3	20	cobble	10.7	run up	IWTP-0040
I02	岩手県洋野町第12地割 鹿糠漁港海岸	40.39025000	141.72800000	terrace	pebble	**	7.9	ca. 30	cobble	7.9	run up	IWTP-0030
I03a	岩手県野田町:野田米田川河口南海岸地すべり地	40.09302778	141.83058333	terrace	cobble	9.0	15.4	30	boulder	24.4	run up	IWTP-0142
I03b	岩手県野田町:野田米田川河口南海岸地すべり地	40.09302778	141.83058333	terrace	pebble	15.0	9.4	40	boulder	24.4	run up	IWTP-0142
I04a	岩手県田野畑村北山 和底	39.96061111	141.95447222	terrace	granule	16.5	3.1	240	boulder	19.7	run up	ERIX-0277
I04b	岩手県田野畑村北山 和底海向崖	39.96083333	141.95502778	talus	pebble	12.5	7.1	60	cobble	19.7	run up	ERIX-0277
I05a	岩手県田野畑村切牛莫木沢海岸	39.89047222	141.95458333	talus	pebble	10.7	8.9	110	cobble	19.6	inundation	HKDS-0125
I05b	岩手県田野畑村切牛莫木沢海岸	39.89047222	141.95458333	cliff	pebble	10.7	8.9	110	cobble	19.6	inundation	HKDS-0125
I06a	岩手県宮古市田老町和野南側沢型	39.75233722	141.99181080	terrace	pebble	10.1	11.3	130	granule	21.4	run up	IWTP-0254
I06b	岩手県宮古市田老町和野北側崖	39.75263417	141.99088812	talus	granule	18.0	2.4	100	granule	20.4	run up	IWTP-0255
I07	岩手県宮古市田老町真崎斜面	39.74903775	141.99580193	talus	pebble	17.0	8.4	30	pebble	25.4	run up	IWTP-0251
I08a	岩手県宮古市日出島 畑	39.67250000	141.97869444	terrace	pebble	11.1	6.5	50	***	17.6	run up	IWTP-0290
I08b	岩手県宮古市日出島 弁財天	39.67269444	141.97925000	terrace	pebble	16.7	3.8	110	***	20.5	run up	IWTP-0292
I08a	岩手県山田町小谷島海側	39.42661111	142.00913889	talus	pebble	10.6	8.8	30	pebble	19.4	run up	IWTP-0511
I09b	岩手県山田町小谷島谷斜面	39.42883333	142.00869444	talus	granule	18.2	11.1	250	pebble	29.3	run up	IWTP-0512
I09c	岩手県山田町小谷島谷斜面	39.42883333	142.00869444	talus	pebble	13.6	15.7	260	pebble	29.3	run up	IWTP-0512
I10a	岩手県大船渡市末崎大浜 碁石浜海岸	38.99552778	141.74225000	terrace	cobble	5.7	11.1	14	pebble	16.8	run up	IWTP-0773
I10b	岩手県大船渡市末崎大浜 碁石浜海岸	38.99552778	141.74225000	talus	pebble	10.9	5.9	25	pebble	16.8	run up	IWTP-0773
M01a	宮城県気仙沼市波路 上岩井崎	38.82791667	141.60266667	terrace	cobble	3.6	8.6	20	cobble	12.2	inundation	RYKU-0032
M01b	宮城県気仙沼市波路 上岩井崎灯台の北	38.82791667	141.60266667	terrace	pebble	5.7	6.5	30	cobble	12.2	inundation	RYKU-0032
M02a	宮城県気仙沼市本吉町大谷 釜鼻崎	38.81091667	141.57319444	terrace	pebble	7.3	7.8	20	cobble	15.1	run up	RYKU-0030
M02b	宮城県気仙沼市本吉町大谷 釜鼻崎	38.81127778	141.57330556	*	pebble	4.4	10.7	12	cobble	15.1	run up	RYKU-0030
M02c	宮城県沼市本吉町大谷 釜鼻崎	38.81127778	141.57330556	*	cobble	3.4	11.7	13	cobble	15.1	run up	RYKU-0030
M03	宮城県南三陸町末の崎	38.73716667	141.56469444	cliff	pebble	5.0	9.9	12	cobble	14.9	run up	ERIX-0081
M04a	宮城県南三陸町戸倉下道	38.63805556	141.51491667	terrace	cobble	3.0	7.5	12	cobble	10.5	inundation	UTCE-0005
M04b	宮城県南三陸町戸倉下道	38.63797222	141.51475000	cliff	pebble	4.5	6.0	10	cobble	10.5	inundation	UTCE-0005
M05a	宮城県南三陸町戸倉寺浜神崎峰岬	38.63658333	141.52905556	terrace	cobble	3.0	12.5	15	cobble	15.5	inundation	KGUSU-0021
M05b	宮城県南三陸町戸倉寺浜神崎峰キャンプ場の浜	38.63600000	141.52905556	terrace	pebble	6.1	9.4	18	cobble	15.5	inundation	KGUSU-0021
M06	宮城県石巻市雄勝町荒 甲島対岸	38.53241667	141.53491667	cliff	pebble	4.5	6.4	7	boulder	10.9	inundation	YNUE-0036

*:プレコンパグ上面, **:最上位を検出不能, ***:人工海岸(港, 岸壁)
 データ提供元:ERIX:東大地震研, IWTP:岩手県土木部, MYGP:宮城県土木部, RYKU:神戸大合同調査グループ, UTC:東大, KGUSU:鹿児島大, YNUA:横浜国大



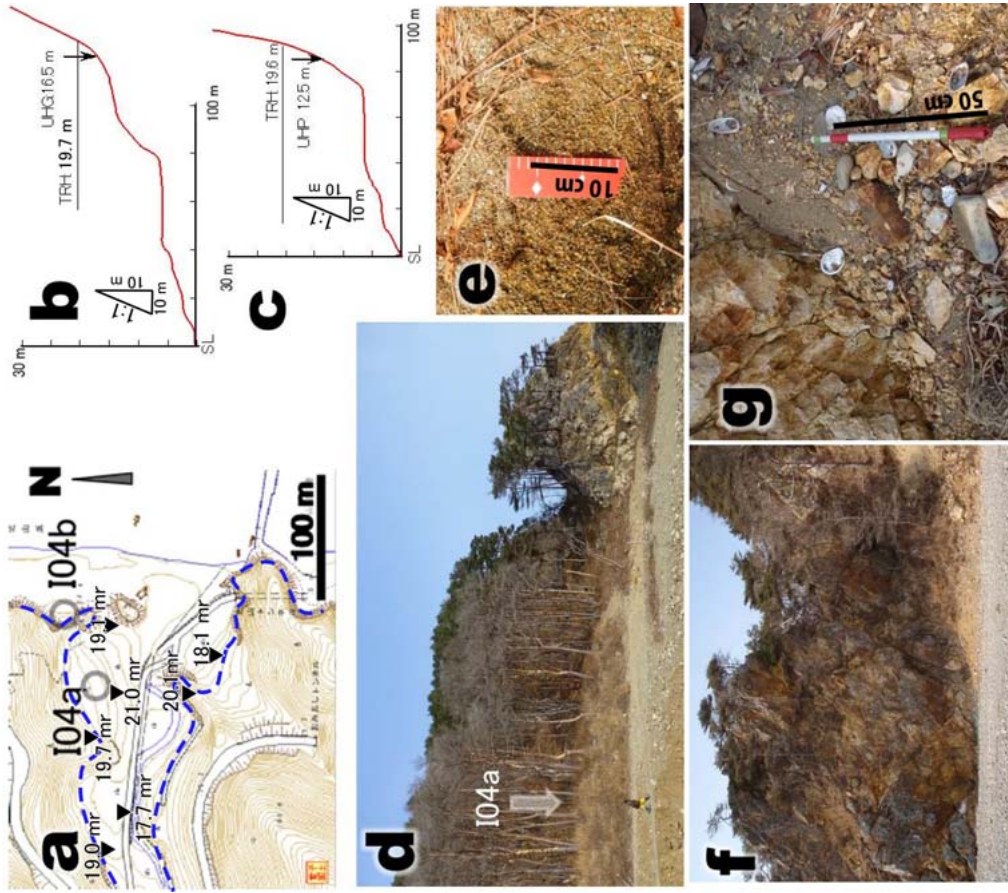
付図2 岩手県洋野町第12地割鹿糠漁港海岸. a: 位置図, b: 地形断面図, c: 調査地遠景, d: 礫質津波? 堆積物 (大礫). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appendix fig. 2 Kanuka, Hirono town, Iwate Prefecture. a: Location map, b: Cross section, c: Distant view of the survey point, d: Cobbles that were possibly tossed up by the 2011 tsunami. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.

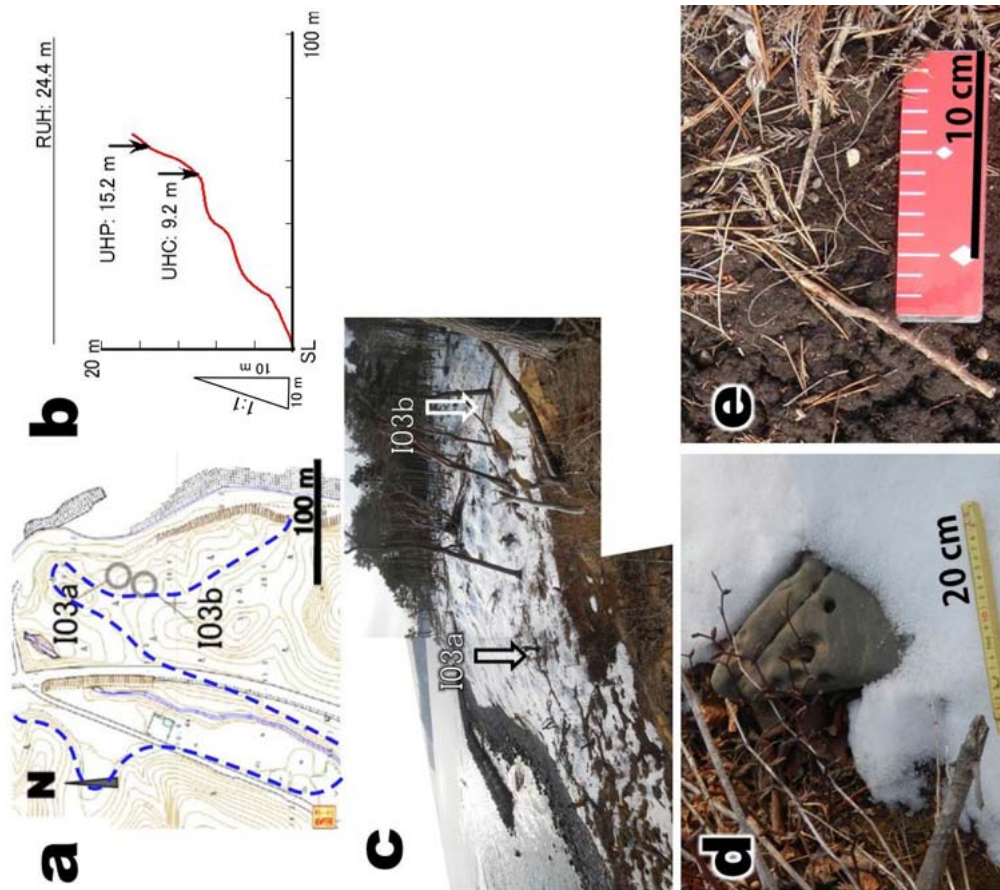


付図1 岩手県洋野町第7地割宿戸漁港海岸. a: 位置図, b: 地形断面図, c: 調査地点遠景, d: 津波堆積物 (人頭大巨礫). a 図中の青破線: 津波浸水範囲 (原口・岩松, 2011) をもとに作図. 逆三角は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの痕跡高測定位置, 数字は痕跡標高で, それに続く文字は津波冠水のタイプ (r: 遡上高, i: 浸水高); TRH: 津波遡上高 (標高), UHB: 巨礫分布最大標高, UHC: 大礫分布最大標高, UHP: 中礫分布最大標高, UHG: 細礫分布最大標高.

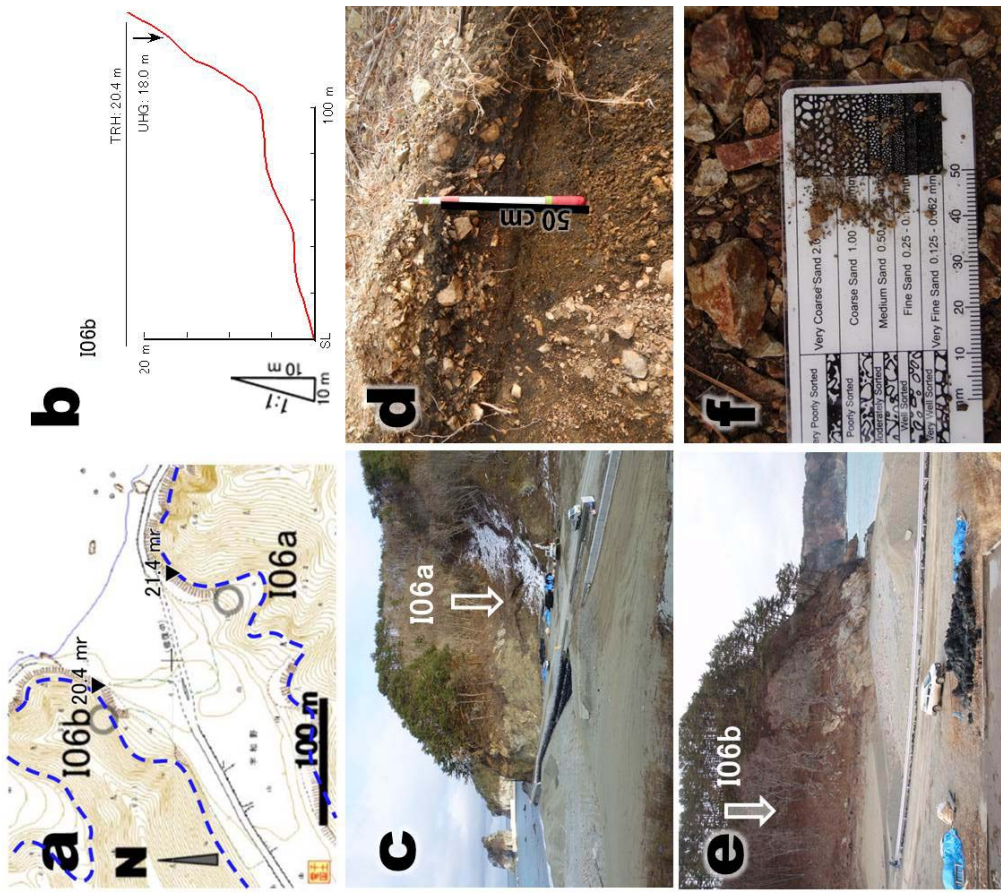
Appendix fig. 1 Syukunchoe, Hirono town, Iwate Prefecture. a: Location map, b: Cross section, c: Distant view of the survey point, d: Gravelly tsunami deposit composed of boulders. In fig. a, Blue dashed line indicate the uppermost height of tsunami traces. Inverted filled triangles shows the survey points of tsunami trace height. Numbers show tsunami trace height (+TP) and characters following them indicate tsunami flooding type (r: run up, i: inundation).; TRH: tsunami run-up height (+TP), UHB: Upper limit of tsunami boulder, UHC: Upper limit of tsunami cobble, UHP: Upper altitude limit of tsunami pebble, UHG: Upper limit of tsunami granule.



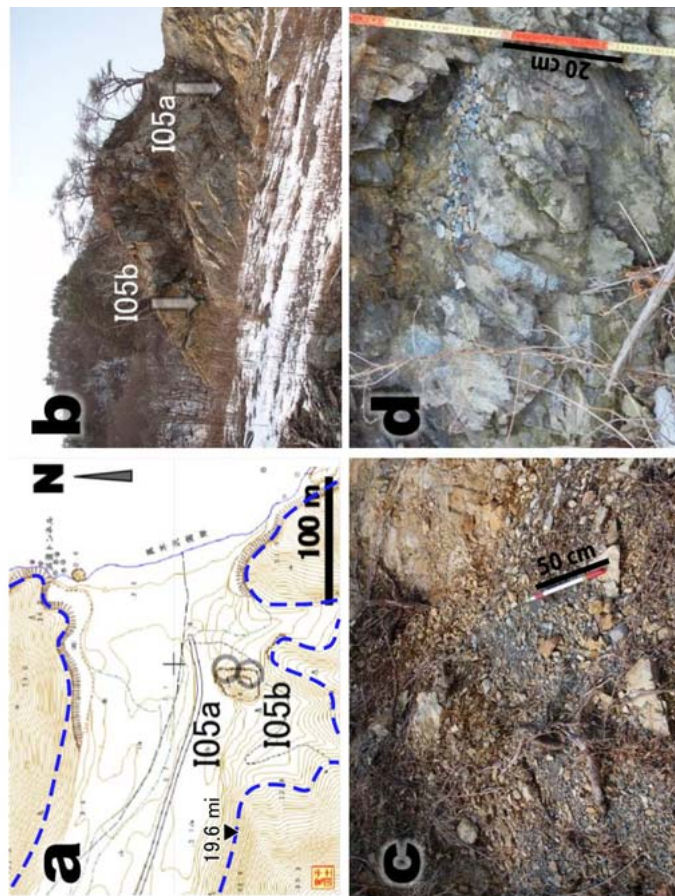
付図4 岩手県田野畑村北山机浜. a: 位置図, b, c: 地形断面図, d: 調査地遠景 (I04a), e: I04a における津波礫層 (中礫), f: 調査地遠景 (I04b), g: I04b における礫質津波堆積物 (大礫, 崖錐タイプ). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.



付図3 岩手県野田市野田米田川河口南岸地すべり地. a: 位置図, b: 地形断面図, c: 調査地点遠景, d: 津波堆積物 (大礫), e: 礫質津波堆積物 (中礫・細礫). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.



付図6 岩手県宮古市田老町和野. a: 位置図, b: 地形断面図 (106a), c: 調査地遠景 (106a), d: 地層断面 (106a), e: 調査地点遠景 (106b), f: 106b における角礫に混じる円磨された海浜起源の細礫. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

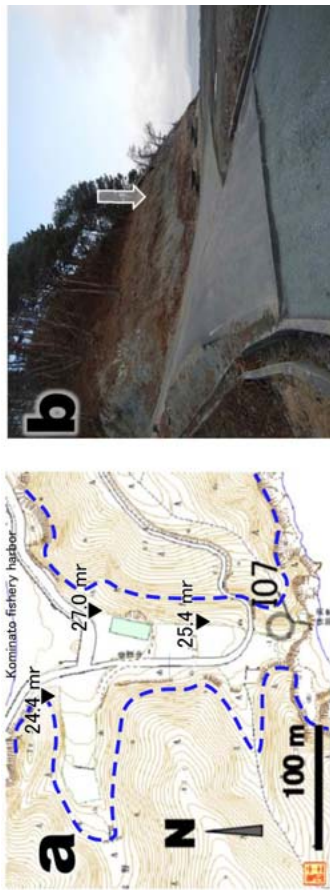


付図5 岩手県田野畑村切牛真木沢海岸. a: 位置図, b: 調査地遠景, c: 礫質津波堆積物 (崖錐タイプ), d: 礫質津波堆積物 (岩棚タイプ, 中礫). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appendix fig. 5 Makisawa, Tanohata village., Iwate Prefecture. a: Location map, b: Distant view of the survey point, c: Gravelly tsunami deposit on the talus slope, d: Tsunami pebbles on the ledge. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.

(continued from Appended fig. 3.)

Appendix fig. 3 Noda, Noda City, Iwate Prefecture. a: Location map, b: Cross section, c: Distant view of the survey point, d: Tsunami cobbles, e: Tsunami pebbles and granules. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図7 岩手県宮古市田老町真崎. a : 位置図, b : 調査地遠景. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

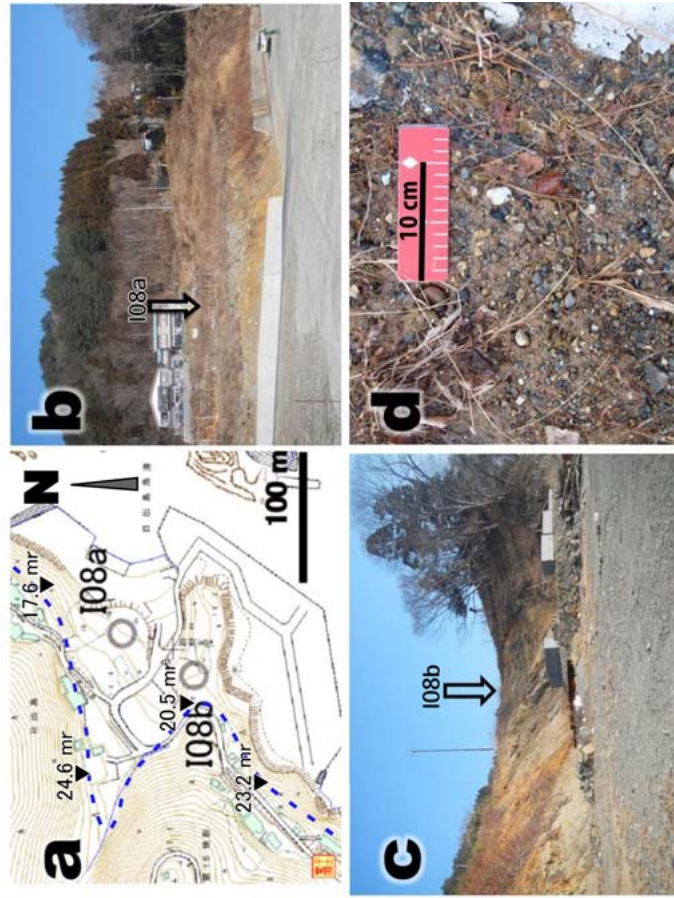
Appended fig. 7 Masaki, Taro-chou, Miyako City, Iwate Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.

(continued from Appended fig. 4.)

Appended fig. 4 Kitayama, Tanohata Village, Iwate Prefecture. a : Location map, b : Cross section at I04a, c : Cross section at I04b, d : Distant view of the survey point at I04a, e : Pebbly tsunami deposit at I04a, f : Distant view of the survey point at I04b, g : Gravelly tsunami deposit on the talus slope. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.

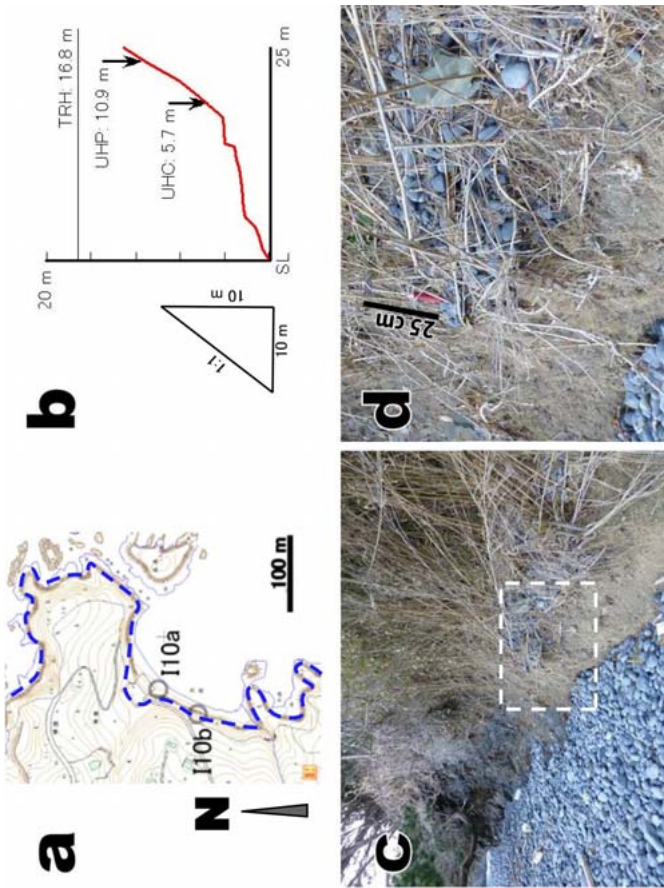
(continued from Appended fig. 6.)

Appended fig. 6 Wano, Taro-chou, Miyako City, Iwate prefecture. a : Location map, b : Cross section at I06a, c : Distant view of the survey point at I06a, d : Outcrop at I06a, e : Distant view of the survey point at I06b f : Well-rounded beach granules mixed with angular gravel at I06b. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



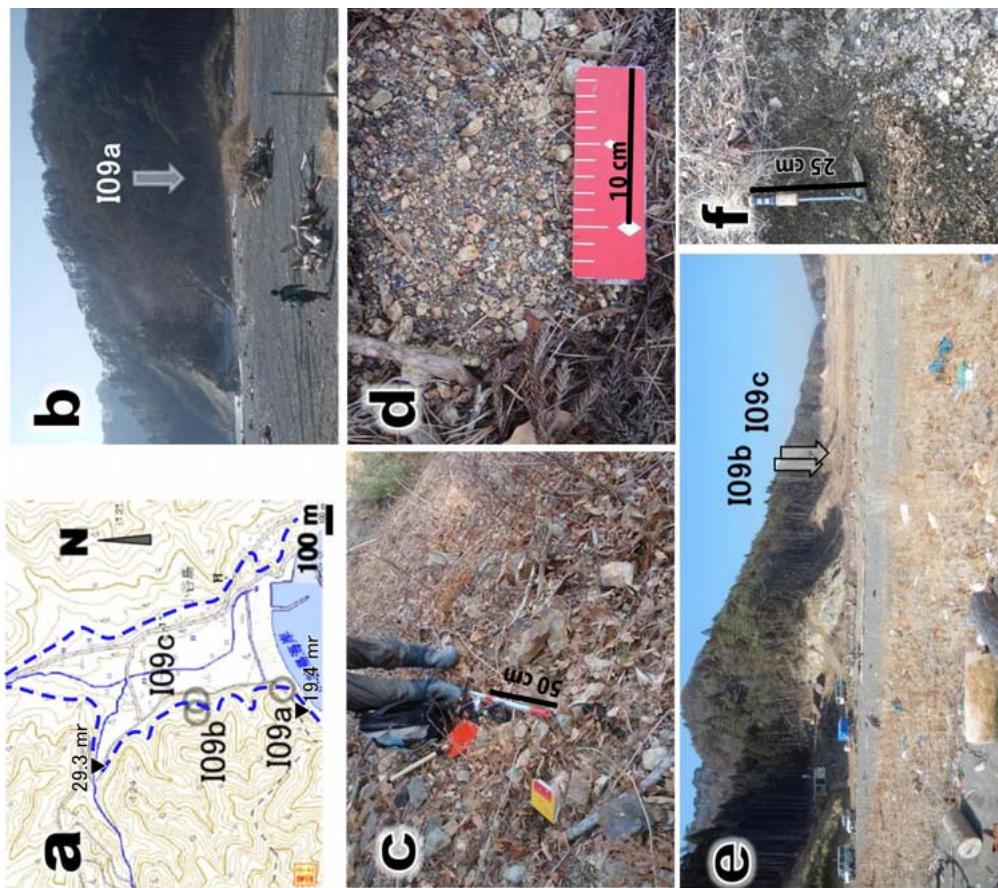
付図8 岩手県宮古市日出島. a : 位置図, b : 調査地遠景 (I08a), c : 調査地遠景 (I08b), d : I08b における礫質津波堆積物. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 8 Hidejima, Miyako City, IwatePrefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point at I08a, c : Distant view of the survey point at I08b, d : Gravelly tsunami deposit at I08b. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図10 岩手県大船渡市末崎大浜基石浜海岸. a : 位置図, b : 地形断面図, c : 調査地遠景, d : c 図破線中を拡大. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 10 Goishi-hama, Ofunamto City, Iwate Prefecture. a : Location map, b : Cross section, c : Distant view of the survey point at 108a, d : Zooming up view of the dashed frame in fig. 10c. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図9 岩手県山田町小谷島. a : 位置図, b : 調査地遠景 (109a), c : 109a における礫質津波堆積物, d : 109b における角礫主体で円礫が混じる津波堆積物, e : 調査地遠景 (109b,109c), f : 109c における角礫主体で円礫が混じる津波堆積物. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 9 Koyatori, Yamada-machi, Iwate Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point at 109a, c : Gravelly tsunami deposit at 109a, d : Gravelly tsunami deposit composed of angular cobbles with small amount of well-rounded

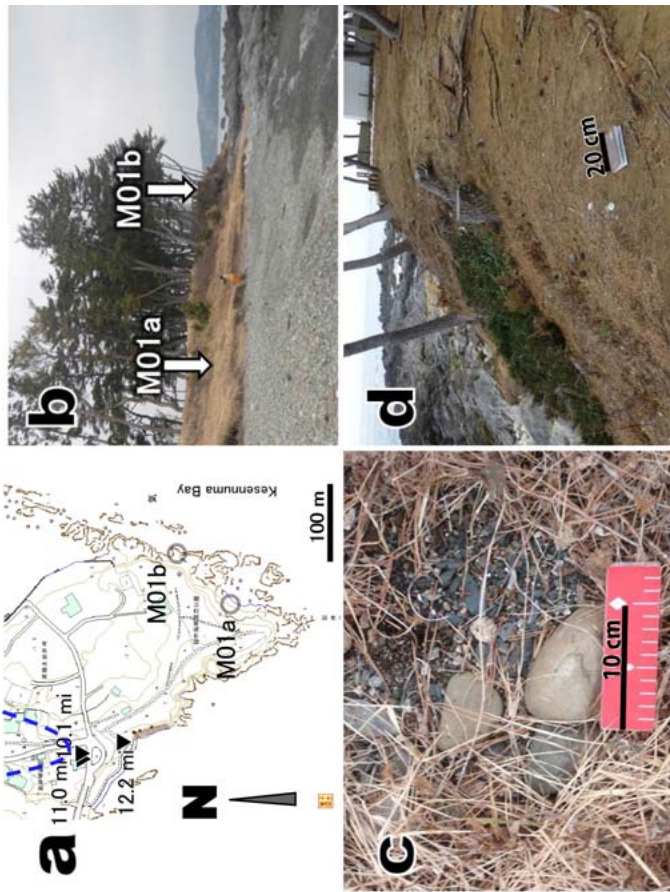
(continued from Appended fig. 9.)

granules at 109b, e : Distant view of the survey point at 109b and 109c, f : Gravelly tsunami deposit composed of very angular gravel with small amount of rounded beach gravel at 109c. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図12 宮城県気仙沼市本吉町大谷館鼻崎. a : 位置図, b : 調査地遠景 (M02a), c : 段丘上に散在する中礫と貝殻 (M02a), d : フレコンバッグ上に散在するストーンムで遡上した礫. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 12 Tatehana-saki, Kesennuma City, Miyagi Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point at M02a, c : Well-rounded pebbles and shells on the terrace at M02a, d : Beach gravel tossed up on the flexible sand bags by violent storms. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



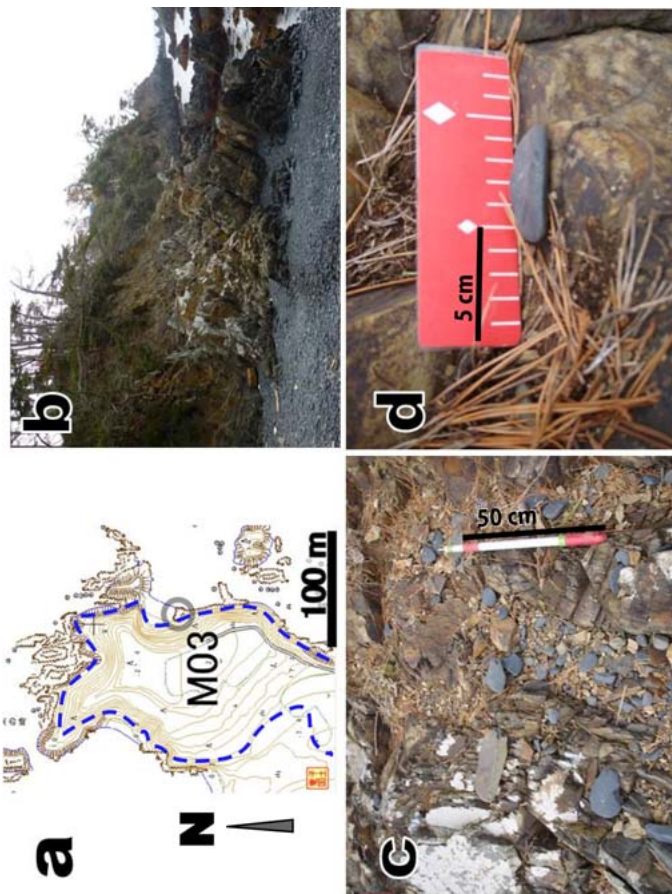
付図11 宮城県気仙沼市波路上岩井崎. a : 位置図, b : 調査地遠景, c : M01aにおける津波礫 (大礫) と細礫層, d : 段丘上に散在する中礫と貝殻. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 11 Iwai-saki, Kesennuma City, Miyagi Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point, c : Tsunami cobbles and shells scattered on the terrace. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図14 宮城県南三陸町戸倉下道. a : 位置図, b : 調査地遠景 (M04a), c : 調査地遠景 (M04b), d : 岩棚上に散在する津波礫 (大礫). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 14 Tokura Shitamitimi, Minamisanriku Town, Miyagi Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point at M04a, c : Distant view of the survey point at M04b. A surveyor points at the pebble reaching the maximum altitude among the tsunami pebbles. d : Sporadic cobbles tossed up on the ledge by the 2011 tsunami. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



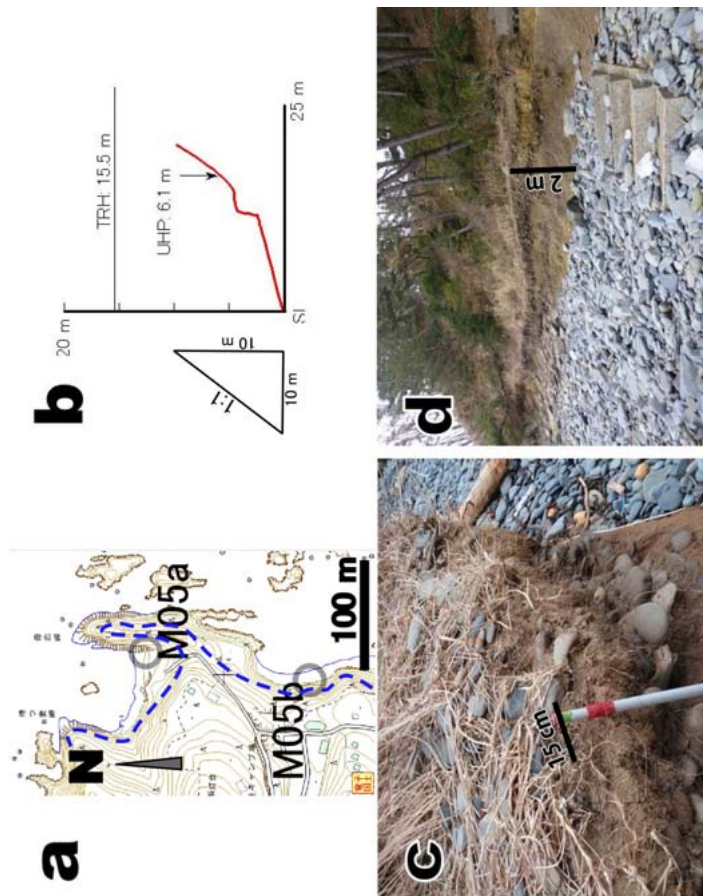
付図13 宮城県南三陸町末の崎. a : 位置図, b : 調査地遠景, c および d : 岩棚上に散在する津波礫. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 13 Suenosaki, Minamisanriku Town, Miyagi Prefecture. a : Location map, b : Distant view of the survey point, c and d : Tsunami cobbles scattered on the ledge. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図16 宮城県石巻市雄勝町荒甲島対岸, a: 位置図, b: 岩棚上の津波礫. 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 16 Ogatsu-chou, Ishinomaki City, Miyagi Prefecture. a: Location map, b: Cobbles washed up on the ledge and intervented into the crack by the 2011 tsunami. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.



付図15 宮城県南三陸町戸倉寺浜神割崎, a: 位置図, b: 地形断面図 (M05b), c: 海食崖の縁の津波礫 (大礫) 堆積状況 (M05a), d: 調査地遠景 (M05b). 凡例と略号, およびその意味は付図1と同じ.

Appended fig. 15 Kamiwari-zaki, Minamisamriku Town, Miyagi Prefecture. a: Location map, b: Cross section at M05b, c: Tsunami cobblesgravel on the edge of the coastal cliff at M05a, d: Distant view of the survey point at M05b. The legend, abbreviated names and its meaning are the same as in the appended fig. 1.