

東北地方太平洋地震によって残された津波堆積物

—東日本の太平洋岸に見られる津波堆積物を例として—

青 野 宏 美

Tsunami Sediments due to the Tohoku/Pacific Ocean Catastrophic Earthquake along the Sea Shore of East Japan

Hiromi AONO

Abstract

The Tohoku/Pacific Ocean Earthquake happened on March 11, 2011. After this powerful earthquake, huge tsunami waves hit the coasts of these regions and completely destroyed many cities and towns. Recently, ancient tsunami sediments were surveyed along these coastal regions, and these findings show that catastrophic earthquakes have repeatedly occurred over the past 2,000 years.

The tsunami sediments of Itinomiya Town (Chiba Prefecture) and Minamisanriku Town (Miyagi Prefecture) were investigated. These tsunami sediments were analyzed by grain-size analysis. This analysis shows that the higher the height of the 2011 tsunami waves, the finer the grain-size of the tsunami sediment (tsunamiite), because the highest tsunami wave (10-20m) intruded into the inner land and eroded the surface soil. In addition, it was shown that offshore mud on the sea floor was carried inland, and then the sediments of fine to very fine sand with silt and clay were deposited by the backwash waves, which occurred current ripple mark on the sediments.

Key words

Tsunami Sediments, Jogan Earthquake, Onjuku Coast, Itinomiya Town, Minamisanriku Town

1. はじめに

平成23年（2011年）3月11日午後14時46分に、東北地方太平洋沖地震によって未曾有の東日本大震災が引き起こされた。この地震に対する顕著な前兆現象は観察されず、3月9日に生じた本震震源付近の地震（M 7.2）がその前震とされている。今回の地震の特徴は、世界的に見ても広域にわたる震源域をもつ超巨大なプレート境界地震であるとともに、その直後に大津波警報が発令されたにもかかわらず、約2万人近くの人々が犠牲となった。また大地震と巨大津波によって引き起こされた放射能汚染をともなう福島県の第一原子力発電所の爆発事故は記憶に新しい。

さらに近年津波堆積物について、過去の津波を伴う地震に関する研究が活発に行われており、今回の地震と同程度、あるいはそれ以上の規模の地震が数百年から千年に一回の割合で生じた可能性も指摘されている。こうして地層に残された津波堆積物や迷子石（津波石）を研究する意義は大きいですが、まずは今回の巨大津波によって残された津波堆積物について、早急に分析を進める

必要がある。そこで、今回の津波堆積物（ツナミナイト）が、形として残されている間の3月末に千葉県房総半島沿岸の御宿海岸と一宮町へ行き、続いて4月の初めに宮城県の南三陸町（図1）に入り、残された津波堆積物の状況とその砂泥質堆積物のサンプルを採集して、粒度分析を行った。これらの堆積物は、大津波が押し寄せた後の、引き波によって生じたカレントリップルを伴う堆積物であり、その海岸に押し寄せた津波の規模によって、それぞれの粒度分布に特徴があることが明らかとなった。

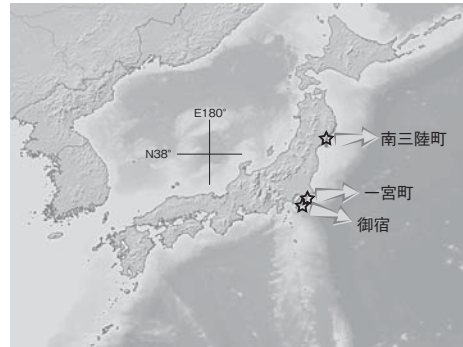


図1：東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の調査地点

2. 東北地方太平洋地震と巨大津波の襲来

太平洋の三陸沖を震源とする M 9.0 の海溝型超巨大地震（東北地方太平洋地震）が発生した際の震源域は、岩手県沖から茨城県沖にまで達し、宮城県では震度7を記録した。気象庁によれば、震源域の範囲は、東西約200 km、南北約500 km の範囲で生じた西北西—東南東方向に圧縮軸をもつ低角逆断層型の地震であり、水平方向に最大20 m のずれを生じたとしている。その直後、東北日本から関東にかけて、巨大津波が次々と押し寄せ、各市町村を破壊し尽くしたことは、記憶に新しい。国土地理院の GPS 測量観測によって、電子基準点「牡鹿」は東南東に約5.3 m、下方向に1.2 m も移動（沈下）したが、海上保安庁の海底基準点のデータは、その数倍の水平移動量および隆起または沈降量を示している。また国土地理院の計測によれば、岩手県・宮城県・福島県の海岸平野では、数10 cm～最大1.2 m もの地盤沈下が生じた。こうした内陸側の地盤沈下が過去に繰り返し起こったために、松島や三陸リアス式海岸の景観を生み出す原動力となったと考えられる。また、関東では、千葉県の埋め立て地などを中心として液状化現象や噴砂による被害も報告されている。

産業技術総合研究所によれば、869年（貞観11年）に、今回と類似した地震が生じたとされており、古文書に記載された貞観地震によると思われる津波堆積物の存在が明らかにされた（澤井ほか、2006）。また、貞観地震のみならず、過去2000年の間に4回の巨大地震による津波堆積物の存在が、東北日本の広域調査によって明らかにされてきた。

検潮所の測定記録によれば、大津波の波高は、福島県の相馬で9.3 m 以上とされているが、この測定以降の波の記録が残されていない。日本気象協会によれば、三陸海岸で10 m～15 m 前後とされている。また陸上への遡上高は、宮古市で最大40.5 m まで達しており、この記録は明治三陸地震による大船渡市の最大記録38.2 m をも上回る結果となった。

3. 巨大津波によって残された津波堆積物

ここ10数年の間に、地震イベント堆積物の研究が、急速に進み（藤原ほか、2004など）、日本各地から津波堆積物の研究報告がなされている。例えば、日本の沿岸低地の津波堆積物に対する堆積学的認定基準として、①洪水堆積物やストーム堆積物との区別ができ、②地殻変動や噴砂な

どの古地震学的証拠があり、③古文書や伝承との整合性（七山・重野，2004）が重要であり、また上方細粒化を示す堆積構造が一般的に見られる（藤原，2004）こと、などが示されている。特に、澤井ほか（2006）によれば、仙台平野の堆積物中に、古文書に見られる1611年（慶長16年）と896年（貞観11年）の津波堆積物の痕跡が発見された。その堆積物が、十和田 a 火山灰層（西暦915年）の直下に存在することが観察されたことと、十和田 a 火山灰層の年代が鍵となり、貞観地震による津波堆積物であることが認定されている。

（1）御宿海岸の津波堆積物

千葉県を検潮所によると、銚子では2.4 m の津波が観測されている。房総半島の千葉県夷隅郡御宿海岸（図1）では、津波が押し寄せた後の引き波によると思われるカレントリップル（写真1）が、海岸砂丘の上まで続いている。高潮位（満潮）時の波は、この砂丘の上まで到達することはないので、津波がこの砂丘まで押し寄せたとすると、2～3 m の波高があったと思われる。また、引き波によると思われるカレントリップルは、海岸全体に広く観察され（写真2）、津波が高潮位線をはるかに越えて、海岸の奥にある砂丘堆積物の高まりまで進入したことがわかる。

（2）一宮町の津波堆積物

千葉県長生郡一宮町（図1）の国道30号線沿いの道の駅では、海岸沿いの植木を乗り越え（写真3）、木々をなぎ倒して国道沿いの植木の上にゴミを残して引いていった。道の駅では、店内まで海水が溢れたとのことであった。また、津波が引いていくときに残されたカレントリップルが駐車場の堰堤沿いに観察され（写真4）、海岸の砂がそのまま運ばれて砂蓮堆積物（写真5）を残したことがわかる。

（3）南三陸町の津波堆積物

岩手・宮城・福島県の各検潮所によれば、宮古では8.5 m 以上、大船渡では8.0 m 以上、石巻鮎川では7.6 m 以上、相馬では9.3 m 以上の大津波が観測されている。宮城県本吉郡南三陸町（図1）では、瓦礫の中に混じって、砂礫質の津波堆積物（写真6）が残されている。さらに、高台の崖に沿った港付近の低地では、津波の引き波によって形成された砂泥質の堆積物からなるカレントリップル（写真7）が見られ、陸側から海側への引き波であることがわかる。

（4）津波堆積物の粒度分析

サンプルとして採取した津波堆積物の粒度分析結果を表1にまとめて示す。モード径 ϕM は、棒グラフの最も高い頻度を示す粒度を ϕ スケールで表している。淘汰度 $\sigma\phi$ は、津波堆積物の粒径のそろい方の程度を客観的に示す尺度である。また歪度 $a\phi$ は粒度分布曲線のピーク値（モード径 ϕM ）が、算術平均粒径から、どれくらいずれているのかを示しており、値が正（+）の場合は粗い

表1：東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の粒度分析結果一覧表

	モード径	平均値	淘汰度	歪度
採集地	ϕM	x	$\sigma\phi$	$a\phi$
一宮町	3.5	3.22	0.588	0.027
南三陸町一1	4.5	4.35	0.849	-0.372
南三陸町一2	4.5	3.91	1.12	-1.50

$$\text{平均値 } \bar{x} = \sum f \cdot m\phi / 100$$

f (%) は、各粒度階の試料の重量頻度 (%)。 $m\phi$ は、 ϕ スケールにおける各粒度階の中央値。

$$\text{淘汰度 } \sigma\phi = \sqrt{\sum f \cdot (m\phi - \bar{x})^2} / 100$$

$$\text{歪度 } a\phi = \sum f \cdot (m\phi - \bar{x})^3 / 100\sigma\phi^3$$

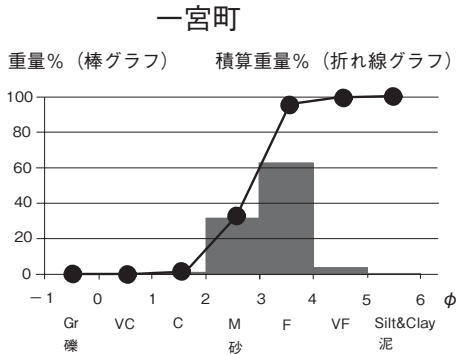


図2：東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の粒度分布曲線（千葉県長生郡一宮町）

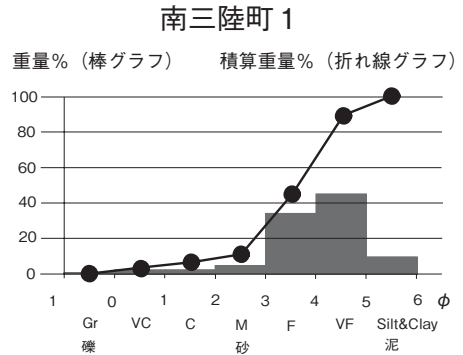


図3：東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の粒度分布曲線（宮城県本吉郡南三陸町-1）

方へ、値が負（-）の場合は細かい方へ偏っていることを示している。海砂の場合は、歪度 $a\phi$ が負の値を示すことが多い（東京書籍，2002）。

千葉県の一宮町と宮城県の南三陸町における、津波堆積物を採集して実験室に持ち帰り、粒度分析用の篩を用いて粒度分析を行った。一宮町では、モード径が3.5φ（細粒砂）であり、平均値は約3.2φ（細粒砂）を示している（図2）。この値は、南三陸町に比べると中粒砂～細粒砂の分量が多く、逆に極細粒砂やさらに細かいシルト・粘土粒子は少ないことがわかる。房総半島では、東北日本に比べると津波の波高が1～2mと低かったため、内陸深くまで進入せずに、海岸の砂をそのまま奥まで運んで堆積させたと考えられる。

宮城県の南三陸町では、モード径が4.5φ（極細粒砂）であり、平均値は約3.9～4.4φ（細粒～極細粒砂）を示し（図3と4）、一宮町と比べると、シルト・粘土粒子の割合が高いことがわかる。この地域では10mの高さを超えて、内陸深くへ遡上するような大津波が襲来しており、海岸の砂に加えて、沖合の泥や内陸部の土壌を浸食しながら進入し、引き波のときにカレントリップルを残していったものである。テレビ映像に見られるように、海岸の松原を越えて先端部の黒ずんだ津波が内陸部のはるか奥まで水田や畑の上を遡上したために、この地域の津波堆積物は、より多くの泥質物を含んでいると考えられる。

4. おわりに

ハットンの齊一説（齊一観）での「現在は過去への鍵である」という語句に表されるように、過去の地質現象は、現在の自然現象と同じ作用で一樣に行われたとする考え方があり、この考え方が正しいとするならば、過去の津波堆積物の性質を知るためには、現在の津波によってもたらされた津波堆積物を調べることが常道であり、かつ最も重要な調査法である。今回、2011年3月11日に生じた津波によって東北～関東地方にもたらされた津波堆積物の一部を調査し、そのサン

南三陸町 2

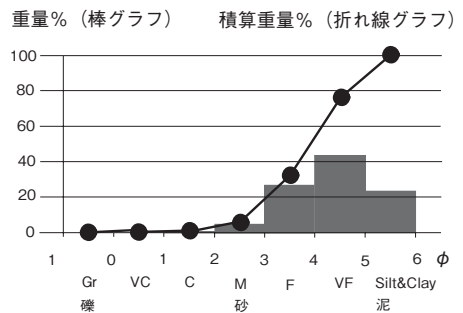


図4：東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の粒度分布曲線（宮城県本吉郡南三陸町-2）

ブルを採取して、津波堆積物として残された未固結堆積物の粒度分析をする機会を得ることができた。

現在の津波堆積物を調べた結果を見ると、津波の波高が比較的低かった房総半島一宮町では、海岸の砂と変わらず、より粒度が粗く淘汰度は良い。逆に波高が最大級であった宮城県の南三陸町では、より粒度が細くなり、泥質の部分が多くなり、淘汰度は悪くなっていた。これは、津波の波高が高い(エネルギーが大きい)ほど内陸への遡上が激しく生じ、海岸の砂だけではなく、海底沖合の泥や内陸の土壌を巻き込んで引き波となった時に、カレントリップルを伴う堆積物として残されたものと考えられる。従って、過去の津波堆積物を調査したときに、歪度が負の値を取り、より粒度が細かく、かつ淘汰度の値が大きい(淘汰が悪い)ほど、津波の波高がより高かったことを意味している。瓦礫の大きさと多さにも、注意が向かうことになりがちであるが、砂泥質津波堆積物の粒度分析を詳細に行い観察することによって、過去に生じた津波の規模と波高の推定をより正しく認定することができるであろう。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、岐阜聖徳学園大学教育学部の大澤正善教授には、南三陸町に関する丁寧なご助言をいただき、ここに御礼申し上げます。また、英文要旨について、同大学の John Spiri 准教授にはご校閲を頂き、ここに感謝いたします。最後に、東北日本大震災で犠牲になられた方々には哀悼の意を捧げ、本論文の津波堆積物に関する研究結果が、将来の津波に対する防災対策に、少しでも寄与できることを祈念致します。

参 考 文 献

- 藤原 治 (2004) : 津波堆積物の堆積学的・古生物学的特徴, 地質学論集, 58, 35-44.
- 藤原 治ほか (2004) : 地震イベント堆積物研究の重要性と防災研究への展望, 地質学論集, 58, 1-10.
- 七山 太・重野聖之 (2004) : 遡上津波堆積物概論, 沿岸低地の津波堆積物に関する研究レビューから得られた堆積学的認定基準, 地質学論集, 58, 19-33.
- 澤井祐紀・岡村行信・宍倉正展・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎 (2006) : 仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波-1611年慶長津波と869年貞観津波の浸水域-, 地質ニュース, 624, 36-41.
- 東京書籍 (2002) : 新 観察・実験大事典 [地学編] ①大地, 42-43.



写真1：津波の引き波によって生じた砂丘上のカレントリップル（千葉県夷隅郡御宿海岸）



写真2：津波の引き波によって生じた海岸のカレントリップル（千葉県夷隅郡御宿海岸）。左上に見えるゴミのラインは、満潮時の高潮位線を表す。



写真3：津波によって陸側になぎ倒された植木(千葉県長生郡一宮町)



写真4：津波の引き波によって生じたカレントリップル(千葉県長生郡一宮町)。写真の上から下へ向かって引き波が流れたことを表す。



写真5：津波の引き波によって生じたカレントリップル(千葉県長生郡一宮町)。写真の右から左へ流れたことを示す(図2のサンプル地点)。



写真6：津波の引き波によって生じた津波堆積物（図3のサンプル地点）と瓦礫（宮城県本吉郡南三陸町-1）

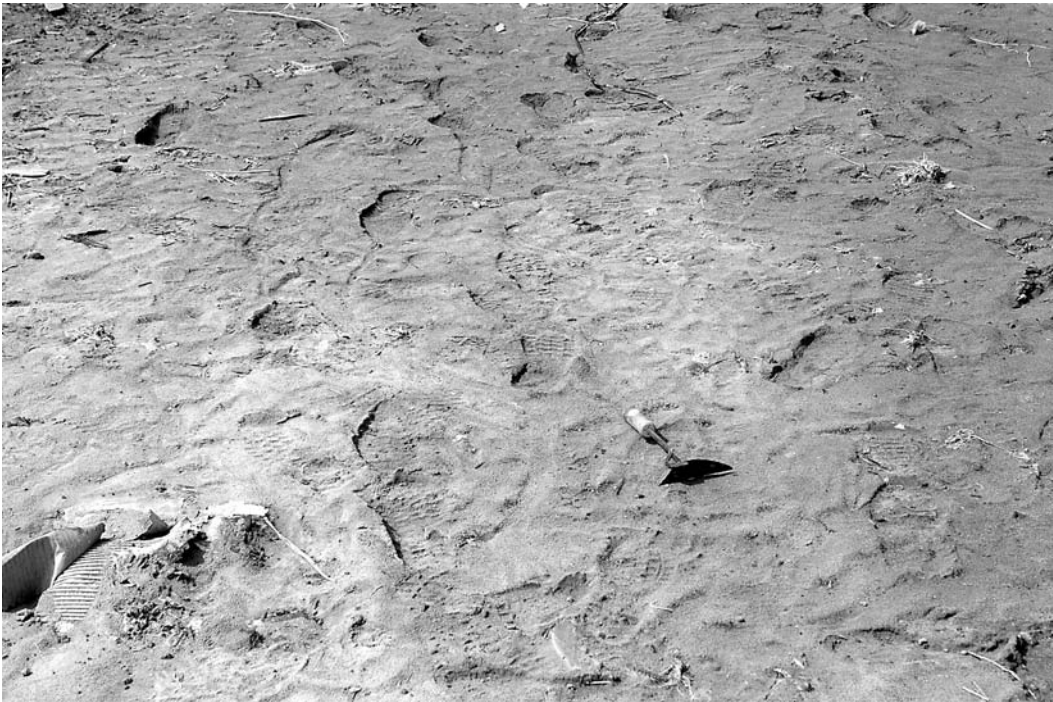


写真7：津波の引き波によって生じたカレントリップル（宮城県本吉郡南三陸町-2）。写真の上（陸側）から下（海側）へ流れたことを示す（図4のサンプル地点）。