

仙台平野を中心とする津波被害実態と堆積物調査報告

後藤 和久^{*,**}・西村 裕一^{***}・菅原 大助^{**}・阿部 朋弥^{****}
中村 有吾^{***}、藤野 滋弘^{*****}・原口 強^{*****}

本稿は、東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会予稿集（2011 年 7 月 16 日、高槻市）の 57 - 62 ページからの転載である。

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波（以下、2011 年津波とする）の一つの特徴は、過去に同地域を巨大津波が襲った事実が、あらかじめわかっていたという点にある。古文書記録である『日本三代実録』には、貞観 11 年 5 月 26 日（西暦 869 年 7 月 13 日）に発生した地震と津波（以下、貞観津波）についての記述が残されている¹⁾、²⁾。それによれば、現在の仙台平野において、地震による被害だけでなく津波が広範囲に浸水した様子が記録されている。さらに、貞観津波に関する伝説や伝承も宮城県気仙沼市から茨城県大洗町にかけて残されており、特に仙台平野から福島北部で大津波を示唆するものが多い³⁾。

また、貞観津波やそれ以前の巨大津波の地質学的証拠が数多く報告されていた点も特筆すべきである。特に、2 章でレビューするように、おもに砂からなる津波堆積物（津波によりもたらされた土砂が堆積したもの）の詳細な調査が 1990 年代前半から行なわれ、こうした調査結果に基づいて、波源モデルの推

定も行なわれてきた。

2011 年津波によりもたらされた堆積物の特徴や分布は、貞観津波の規模や波源、再来周期を再評価するために重要であると同時に、今後津波堆積物を用いた日本全国の津波リスク評価を行なう際の基礎情報になると考えられる。こうした観点から、我々が 4 - 6 月の間に仙台平野を中心とする広域で行なった現地調査結果を報告する。

2. 貞観津波堆積物の研究史

貞観津波の堆積物を初めて報告したのは、箕浦⁴⁾、阿部ら⁵⁾、Minoura and Nakaya⁶⁾ である。箕浦⁴⁾ と Minoura and Nakaya⁶⁾ は、仙台平野での掘削コアから貞観津波やそれ以前の津波堆積物を見出し、およそ 800 年の間隔で巨大津波が襲来していることを指摘した。阿

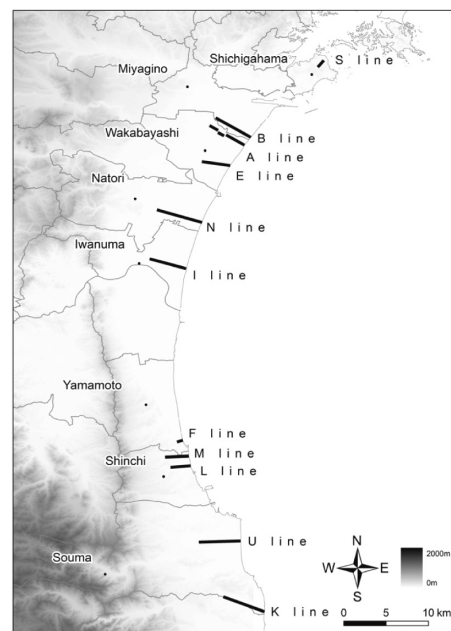


図 - 1 本研究で対象とした調査測線の位置。

* 千葉工業大学惑星探査研究センター

** 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

*** 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

**** 名古屋大学大学院環境学研究科

***** 筑波大学大学院生命環境科学研究科

***** 大阪市立大学大学院理学研究科

部ら⁵⁾は、仙台市における貞観津波堆積物を報告し、貞観津波の痕跡高として 2.5～3.0 m を報告し、海岸の津波高としてこれを数 m 上回る値を推定した。その後、Minoura et al.⁷⁾ や菅原ら⁸⁾ は、仙台市や福島県相馬市で貞観津波やそれ以前の津波堆積物を見出し、貞観津波の地震マグニチュードを 8.3、津波による浸水範囲を 2.5-3 km と推定し、さらに津波再来周期を約 800-1100 年間隔と見積もっている。また、河野ら⁹⁾ は、数値計算に基づき、地震マグニチュードを 8.5 と推定している。

その後、澤井ら^{10), 11), 12)} や穴倉ら¹³⁾, Sawai et al.¹⁴⁾ では、仙台平野や石巻平野の広範囲をカバーするように複数地域で調査を行い、従来調査された以外の場所でも浸水範囲が数 km に及ぶこと、津波の再来間隔が 500-1000 年程度と見積もられることを明らかにしている。さらに、今泉ら¹⁵⁾ や Suzuki et al.¹⁶⁾ は、福島県浪江町において、鳥居ら¹⁷⁾ は岩手県大槌町において、それぞれ貞観津波堆積物を報告している。また、地形学的研究にもとづき、澤井ら¹²⁾ や菅原ら¹⁸⁾ は、仙台市における浸水域を、当時の海岸線（現在より約 1 km 内陸側）から少なくとも 1.0～3.0 km と推定している。

こうした津波堆積物の情報を元に精緻な数値計算が行なわれ、佐竹ら¹⁹⁾ や行谷ら²⁰⁾ は貞観地震のマグニチュードを 8.3～8.4、菅原ら^{18), 21)} では底面掃流力も評価材料に用いて、マグニチュード 8.35 と見積もっている。

3. 調査方法

本研究では、図-1 に示す 11 測線で現地調査を行なった。このうち、測線 A は後藤、原口、菅原、藤野、阿部が 4 月上旬に、測線 N は後藤、西村、菅原、藤野が 5 月上旬に、測線 U, K は西村、中村、阿部が 6 月中旬に、それ以外の測線は、阿部、菅原、後藤が 6 月上旬に、それぞれ海外の研究者や学生諸氏の協力をえながら調査を行なった。測線上で、約 50 - 400 m の間隔で地表に堆積し

た土砂の層厚や堆積学的特徴、構成物の特徴、粒度特性などを調べた。

4. 2011 年津波堆積物の特徴

各測線ごとの特徴や津波堆積物の詳細な記載は別稿で行なうが、ここでは 2011 年津波堆積物の全体的な特徴についてまとめる。第一に、沿岸部で浸水高にして 10 m に達する津波が来襲したにもかかわらず、海岸や砂丘の侵食がさほど顕著ではなく、大規模な土砂移動が起きた形跡がないことが特徴として挙げられる（図-2）。津波堆積物の層厚は、海岸に近い沿岸林内などで厚く、層厚 5～30 cm 程度（図-3）であり、内陸に向かって層厚は変動しながらも全体としては薄層化する傾向にある。粒径は主に細粒～中粒砂が主体である。各測線では、遡上限界付近においても、層厚数 cm から砂粒子一つ分ほどの厚さ（1 mm 以下）の極めて薄い砂層が観察される。この薄い砂層は連続性が悪く、パッチ状に分布する場合もある。また、田園地帯においては、津波によりもたらされた砂層の上に厚さ～数 cm の泥層が堆積している場合が多く見受けられる（図-4）。泥層の層厚は、内陸に進むにつれ増加する傾向が認められた。

従来は、砂質津波堆積物の供給源として、沖合いや砂浜、砂丘などに堆積している砂が大部分を占めると考えられてきた。ところが、図-5 に示すように、仙台平野の田園地帯においては、液状化に伴う噴砂の跡がいたるところで確認され、噴砂痕を中心として厚く砂が堆積している様子も観察された。噴砂により局所的に地表にもたらされたと考えられる砂が津波により移動し再堆積している形跡も見られたことから、噴砂も津波堆積物を構成する砂の供給源の一つだと言える。一方、泥層の供給源は、ラグーン（福島県相馬市）や河川、人工的に作られた水路などの底に溜まっていた水底堆積物や、津波により侵食された耕作地の表土が主体だと考えられる。



図-2 測線 A (仙台市荒浜付近) の海岸の様子. 離岸堤の大規模損壊や砂浜消失は見受けられない.

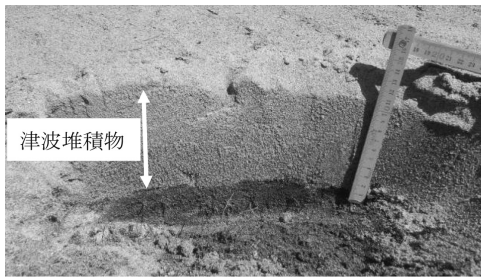


図-3 測線 A の沿岸林内に堆積した津波堆積物.

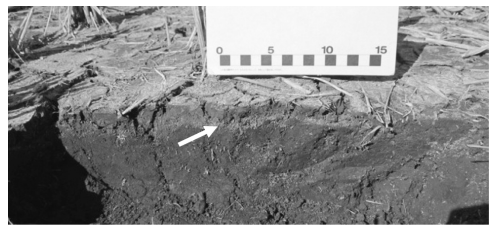


図-4 測線 A の海岸から 3.2 km 内陸の地点での津波堆積物. 約 1 mm 層厚の砂層 (矢印) の上に, 約 2 cm の泥層が堆積している.



図-5 測線 A の水田地帯で観察される噴砂痕.

5. 浸水域と土砂分布域の関係

津波堆積物を用いて過去の津波の浸水限界を推定する場合、従来は土砂の分布範囲を津波の最低浸水域としてきた。しかし、土砂の分布域を越えて津波が内陸まで浸水している可能性は否定できず、実際に 2004 年インド洋大津波などの近年の津波直後の調査では、必ずしも土砂の分布域と津波の浸水域が合わないことが指摘されている²²⁾。

図-6 に、2011 年津波により運搬された砂と浸水域の関係のプロットを示す (堆積環境

が異なる測線 U, K は除く)。すべての地点でほぼ浸水限界付近でも津波により運搬された砂が堆積していたため、津波により運搬された砂が存在するか否かという点で言えば、津波の浸水域と砂の分布範囲はほぼ一致している。ただし、浸水距離が 3 ~ 4.5 km と非常に長い測線では、浸水限界付近の砂の層厚は 1 mm 以下の厚さしかない。古津波を対象とした場合、このようなごく薄い砂層や泥のみからなる層を地層中から認識することは極めて困難である。実際に、菅原ら¹⁸⁾では、貞観津波の堆積物と認識できる砂層の厚さを

0.5 cm 以上として調査を行なっている。

そこで、津波堆積物として地層中でも認識でき、かつ菅原ら¹⁸⁾の結果と比較が可能な層厚 0.5 cm の砂層の分布限界もプロットした(図-6)。その結果、浸水距離が約 2 km 以下の地点では、層厚 0.5 cm の津波堆積物は浸水限界でも観察できるのに対し、浸水距離が約 2 km を超える場所では浸水距離と砂の到達距離に乖離が認められ、砂層の分布は最大でも 3 km 程度が限界で、浸水距離の 62-76% でしかないことがわかった。

このような土砂分布は、陸上を遡上する過程での津波の物質運搬力の低下だけでなく、地形や粒子サイズ、砂の供給量にも関係していると考えられるため、現時点では解釈が難しく、今後さらに研究を行なう必要がある。一方、菅原ら¹⁸⁾は仙台平野において 0.5 cm 以上の層厚の貞観津波堆積物の分布範囲を、当時の海岸線から約 2.7 km と推定していて、今回の推定値(～3 km)と近い値を示すことは興味深い特徴であり、津波堆積物を用いて貞観津波の浸水域や波源を再評価する

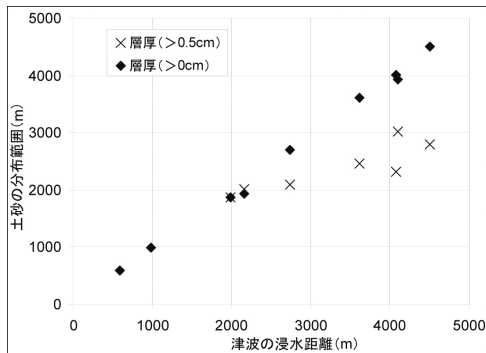


図-6 仙台平野における津波の浸水距離と砂層の分布範囲(層厚>0 cm と>0.5 cm の場合)。

上での重要な知見になると考えられる。

6. 津波堆積物を用いたリスク評価について

津波堆積物研究の重要性は 2004 年インド洋津波以降に再認識され^{22), 23), 24), 25)}, 2011 年津波以降はこれがさらに高まった。中央防

災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」でも、津波堆積物の重要性が再認識されている。津波の再来間隔や過去の津波の規模を推定しリスク評価を行なう上で、津波堆積物が有用であることは確かであるが、津波堆積物の認定については、高い専門性が要求されることに加え、解決されていない問題が多々ある点にも留意が必要である。

まず、津波堆積物の認定については、ストーム(台風などの暴浪)堆積物や浜堤の砂層などと明瞭に区別できることを示さなくてはならず、したがって堆積学的な深い洞察が必要となる^{26), 27)}。また、津波堆積物を用いて津波再来間隔を推定しリスク評価を行う際には、供給源としての砂が沖合いまたは海浜部に過去に定常的に存在していたことが前提条件となる。供給源となる砂が存在しない岩礁部などでは、津波が通過しても堆積物としての痕跡は残らないから、対象地域で一時期でも砂浜や浅海底に砂が存在しない時期があり、その時期に津波が来襲していたとすれば記録が残らないことになり、正確な津波再来間隔は推定できないことになる。また、津波堆積物の有無や層厚は場所により大きく変化するため、コアリング調査では津波堆積物がたまたま保存されていない場所を掘削してしまうこともある。そのため、古津波の調査地点数は十分多くする必要がある。そして、数千年前の古津波規模(浸水域など)を議論する場合、海岸線の位置や地形などが現在とは異なっている場合がある。そのため、地形学的手法により過去の地形復元を同時に行なわなくてはならない。こうした条件が満たされていないことを確認しなければ、津波堆積物を用いて再来間隔や古津波の規模を正しく議論することはできない。

今後、日本各地で津波堆積物調査を行い、低頻度巨大津波のリスク評価を行う必要がある。しかし、日本において津波堆積物を専門とする研究者はごく限られており、関連する諸分野の研究者、技術者の協力が不可欠である。また、津波堆積物が持つ過去の津波の発

生履歴や規模などの情報を正しく理解してリスク評価を行い、適切な手順で行政や一般社会に結果を還元するためにも、津波堆積物研究を専門とする地質、地形学に精通した研究者および技術者の育成が急務である。

謝辞

本研究の一部は、東北大学運営交付金（特別）－東北太平洋沿岸における緊急津波実態調査－（代表：今村文彦）を受けて行なった。また、現地調査では、Catherine Chagué-Goff, James Goff, Bruce Jaffe, Bruce Richmond, Witold Szczuciński, David R. Tappin, Rob Witter, Eko Yulianto らの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田東伍：貞観十一年陸奥府城の震動洪溢，Vol.8, pp. 1033-1040, 1906。
- 2) 渡邊偉夫：日本被害津波総覧。第二版，東京大学出版会，238pp., 1998。
- 3) 渡邊偉夫：伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか－貞観十一年（869年）の地震・津波を例として－，歴史地震，Vol. 17, pp.130-146, 2001。
- 4) 箕浦幸治：東北日本における巨大津波の発生と周期，歴史地震，Vol. 6, pp. 61-76, 1990。
- 5) 阿部壽，菅野喜貞，千釜章：仙台平野における貞観 11 年（869 年）三陸津波の痕跡高の推定，地震（第 2 輯），Vol. 43, pp. 513-525, 1990。
- 6) Minoura, K. and Nakaya, S. : Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: Some examples from northeast Japan, *Journal of Geology*, Vol. 99, No. 2, pp. 265-287, 1991.
- 7) Minoura, K., Imamura, F. Sugawara, D. Kono, Y. and Iwashita, T. : The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 23, pp. 83-88, 2001.
- 8) 菅原大助，箕浦幸治，今村文彦：西暦 869 年貞観津波による堆積作用とその数値復元，津波工学研究報告，Vol. 18, pp. 1-10, 2001。
- 9) 河野幸夫・村上 弘・今村文彦・箕浦幸治：貞観津波と海底潜水調査，東北地域災害科学研究，Vol. 36, pp.115-122, 2000。
- 10) 澤井祐紀，岡村行信，宍倉正展，小松原純子，松浦旅人，Than Tin Aung, 藤井雄士郎：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，Vol. 624, pp. 36 - 41, 2006。
- 11) 澤井祐紀，宍倉正展，岡村行信，高田圭太，松浦旅人，Than Tin Aung, 小松原純子，藤井雄士郎，藤原治，佐竹健治，鎌滝孝信，佐藤伸枝：ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野（仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町）における古津波痕跡調査，活断層・古地震研究報告，Vol. 7, pp. 47-80, 2007。
- 12) 澤井祐紀，宍倉正典，小松原純子：ハンドコアラを用いた宮城県仙台平野（仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町）における古津波痕跡調査，活断層・古地震研究報告，Vol. 8, pp. 17-70, 2008。
- 13) 宍倉正展，澤井祐紀，岡村行信，小松原純子，Than Tin Aung, 石山達也，藤原治，藤野滋弘：石巻平野における津波堆積物の分布と年代，活断層・古地震研究報告，Vol. 7, pp. 31-46, 2007。
- 14) Sawai, Y., Fujii, Y., Fujiwara, O., Kamataki, T., Komatsubara, J., Okamura, Y., Satake, K., Shishikura, M. : Marine incursions of the past 1500 years and evidence of tsunamis at Suijin-numa, a coastal lake facing the Japan Trench, *The Holocene*, Vol. 18, pp. 517-528, 2008.
- 15) 今泉俊文，石山達也，原口強，宮内崇裕，後藤秀昭，島崎邦彦：東北地方太平洋沿岸域における地質調査，宮城県沖地震における重点的調査観測（平成 19 年度）成果報

- 告書, pp. 107-132, 2008。
- 16) Suzuki, H., Imaizumi, T., Ishiyama, T., Miyauchi, T., Kagohara, K., Haraguchi, T., Murashima, N., Omachi, T. : Holocene tsunami deposits associated with earthquakes along Pacific coast, northeast Japan. EOS Transactions, AGU Fall Meet. Suppl., 90 (52) , T33B-1884, 2009.
 - 17) 鳥居和樹, 原口強, 今泉俊文, 宮内崇裕, 島崎邦彦 : 東北地方三陸海岸における津波堆積物調査, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp. 23, 2007。
 - 18) 菅原大助, 今村文彦, 松本秀明, 後藤和久, 箕浦幸治 : 過去の津波像の定量的復元—貞観津波の痕跡調査と古地形の推定について, 津波工学研究報告, Vol. 27, pp. 103-132, 2010。
 - 19) 佐竹健治, 行谷佑一, 山本滋 : 石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, Vol. 8, pp. 71-89, 2008。
 - 20) 行谷佑一, 佐竹健治, 山本滋 : 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における 869 年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, Vol. 10, pp. 1 - 21, 2010。
 - 21) 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治, 地質学的データを用いた西暦 869 年貞観地震津波の復元について, 自然災害科学, Vol. 29-4, pp. 501-516, 2011。
 - 22) 後藤和久, 藤野滋弘 : 2004 年インド洋大津波後の津波堆積物研究の課題と展望, 地質学雑誌, Vol. 114, pp.599-617, 2008。
 - 23) 今村文彦, 後藤和久 : 過去の災害を復元し将来を予測するためのアプローチ—津波研究を事例に—, 第四紀研究, Vol. 46, 491-498, 2007。
 - 24) 藤原治, 後藤和久, 平川一臣, 池原研, 今村文彦 : 古地震・津波情報の地震・津波防災への応用, 第四紀研究, Vol. 46, pp. 445-450, 2007。
 - 25) 西村裕一, 津波堆積物の時空間分布に基づく古津波の調査研究。地震, 第 61 巻特集号, s497-s508, 2009。
 - 26) 七山太, 重野聖之 : 遼上津波堆積物概論—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, Vol. 58, pp. 19 - 33, 2004。
 - 27) 藤原治 : 津波堆積物の堆積学的・古生物学的特徴, 地質学論集, Vol. 58, pp. 35 - 44, 2004。