

平成15年9月26日十勝沖地震津波によって生じた土砂移動現象 -被災直後の堆積学的記載の重要性-

七山 太¹⁾・重野 聖之²⁾・添田 雄二³⁾・石井 正之²⁾

はじめに

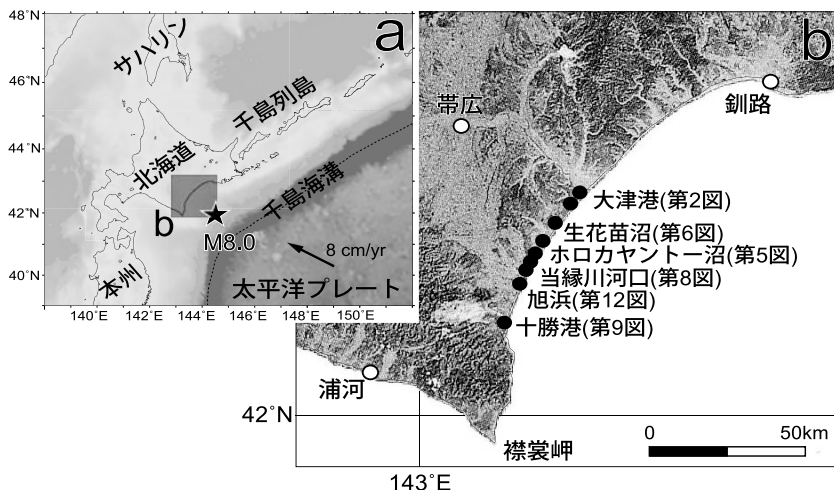
津波被災後には、主に建造物の被害状況や遡上高を求めるための現地調査が行われるのが通例である。しかし、津波により海域または陸上の土砂を浸食・運搬し、その痕跡を残す津波の土砂移動現象について、津波発生直後に現地記載した報告例は未だ少ない(例えば、西村・宮地, 1994; Shi *et al.*, 1995; Dawson *et al.*, 1996; 今村ほか, 1997; Sato *et al.*, 1995; Gelfenbaum and Jaffe, 2003)。2004年12月26日に起こったスマトラ島沖地震(M9.0-9.3)およびその直後に発生したインド洋大津波による被災後、アメリカ地質調査所(USGS)他、世界の研究者による現地調査により、インド洋沿岸各地で大規模な沿岸土砂移動の産状がインターネット上で大々的に公開され、この種の基礎研究の重要性が世界的に知られるようになった(例えば、[http://walrus.wr.usgs.gov/tsuna-](http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/sand.html)

[mi/sumatra05/sand.html](http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/srilanka05/sand.html), <http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/srilanka05/sand.html>)。

津波による沿岸土砂移動は、もちろん今回のインド洋大津波で初めて認識されたわけではない(例えば七山・重野, 2004)。世界中の文献を調べてみても、今野ほか(1961)による“チリ地震津波による三陸沿岸被災地の地質学的調査報告”が、その緒言と言ってよいであろう。本稿では、平成15年(2003年)9月26日十勝沖地震津波(M8.0)の現地調査の結果に基づいて、津波による土砂移動の実例を示し、この種の被災直後の堆積学的記載の重要性について、簡潔に論じたいと思う。

平成15年十勝沖地震津波の概要

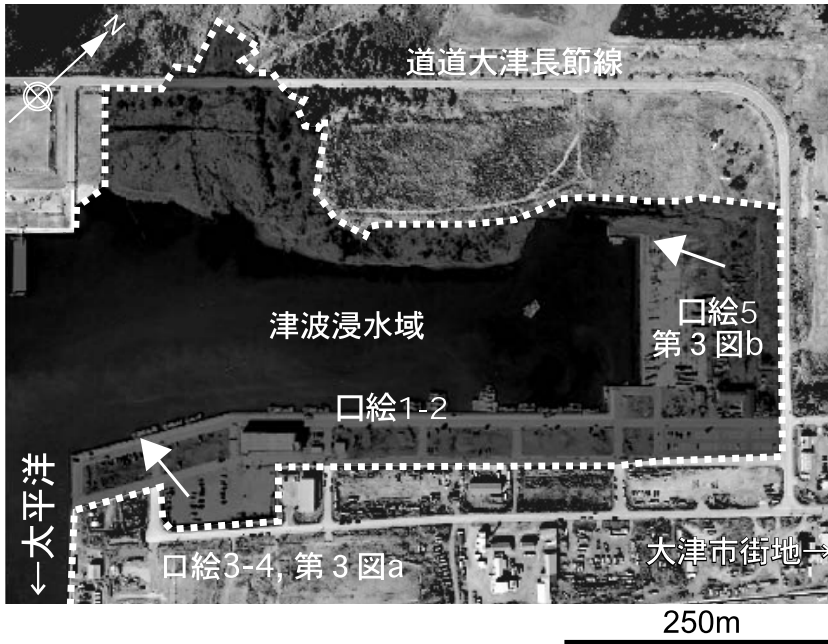
北海道東部太平洋沿岸地域は、1800年代以降、僅か200年しか史実が無いにも関わらず、1894年および



第1図
北海道のテクトニクス、2003年十勝沖地震津波の震源域(a)、および十勝海岸における調査地域(b)を示す位置図。

1) 産総研 地質情報研究部門
2) 明治コンサルタント株式会社
3) 北海道開拓記念館

キーワード: 平成15年十勝沖地震, 津波, 噴砂, 土砂移動, 北海道, 十勝支庁, 地震津波被害



第2図

空中写真上に投影した豊頃町大津港の津波浸水域。空中写真は、帯広開発建設部十勝港湾事業所から提供された。図中に記入された数字は、写真の撮影位置を示す。矢印は堆積構造から読み取れた流れの向きを示す。

1973年根室半島沖地震 (M7.9およびM7.4), 1843年および1952年十勝沖地震 (M8.0およびM8.2), 1960年チリ地震 (M9.5) 直後に発生した津波によって、多大な被害が繰り返しもたらされてきた。平成15年(2003年)9月26日の午前4時50分、この地を再びM8クラスの地震津波が襲った。震源地は、北海道十勝沖(北緯41度46分, 東経144度04分)であり、2003年十勝沖地震 (M8.0)と命名された(第1図)。今回生じた津波は地震がM8クラスであったにもかかわらず、前回の1952年十勝沖地震津波と比較して遡上規模は2~4m程度であり(Tanioka *et al.*, 2004; 谷岡ほか, 2005), 津波被害も少なかった(今村, 2005)。その理由として、今回の十勝沖地震の破壊域が1952年十勝沖地震の西側半分のみであったため、との見解が地震学者によって提示されている(平田ほか, 2005)。

2003年十勝沖地震津波は周期が長く、これにより、十勝川において河口から11km付近まで、津波遡上が生じたことが明らかにされている。さらに、今回の津波は長時間に渡って、エッジ波となって十勝海岸を繰り返し襲ったことも判明している(今村, 2005)。

現地における堆積学的記述

我々は、9月27日から、被害の大きかった豊頃町の

大津港と広尾町の十勝港を含む広尾~釧路間の道東太平洋沿岸地域において、津波による土砂移動に関する現地観察を行った(第1図)。それは、津波痕跡の多くが、その後の風雨や人力によって概ね数日後には消えてしまうのが通例であり、折からの台風の影響も相まって、その記載には緊急を要したからであった。

当時、私達のグループ以外にも気象庁、北海道大学他の大学調査団が津波痕跡の調査を行ったが、基本的に彼らの専門分野は、主に地震学、地形学もしくは海岸土木工学であった(札幌管区気象台, 2004; Tanioka *et al.*, 2004; 谷岡ほか, 2005)。現地において、我々は出来るだけ彼らと連携し、地質研究者の目から見た沿岸土砂移動の状況を写真撮影し、その実態を詳細に観察した。また、被災後に現地に再度訪れて、土砂移動に関する写真の収集を行った。これらの中には、未だ公表されていない貴重な被災写真も多数含まれており、本誌面を借りて公表させて頂くことにしたい。

1. 大津港

大津港は豊頃町^{とよころ}に位置し、十勝支庁において第2の規模を持つ港湾施設である。本港は十勝川河口部に広がる沖積低地を掘り込んで作られた人工港であ

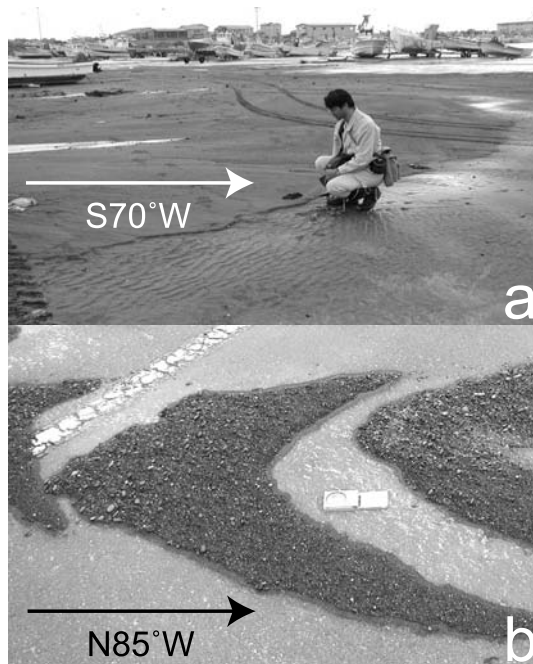
り、主に漁港として機能している。我々は、津波発生翌日(9月27日)に、大津港周辺から現地調査を開始した(第2図)。

大津港においては、港内が津波で浸水している様子が町職員によって撮影されていた(口絵1-2)。これらの写真では、埠頭に駐車されていた数十台の自動車が冠水した状態になっているが、幸い海中には引き込まれなかったらしい。しかし、多数の漁船の転覆が起こったらしい。漁協職員からの聞き取りによれば、「津波は押し寄せたというより膨らむような感じで海水が盛り上がり、浸水してきた」とのことである。ここでは、平常時より最大2.9mの海面上昇が計測されている。

大津漁港の津波第1波到達は、地震発生(9月26日午前4時50分)の30分後とみられる。漁港との間に防潮堤のない大津市街地には、港から浸入した海水が間近まで迫った。豊頃町のある職員は、「盛り土して高くなっている道道大津長節線ちようせつせんで何とか防いだが、あと60cm海面が上がれば道路は決壊し、大津市街地にも海水が押し寄せていた」と話していた(第2図)。

大津港における土砂移動調査の結果、戻り流れ時に港内の土砂が海側に輸送されることによって生じたローブ状の砂体やカレントリップル等の堆積構造が多数観察された(第3図および口絵3-5)。また、港内南東側の駐車場においては、礫は平均1cm径(最大6.5cm)の楕円礫からなる、三日月形の砂礫体が観察された。波高は5cm程度で、ほぼ70cm間隔で並列して存在することから、3Dグラベルデューンと解釈される(口絵3;第3図)。これら堆積物は駐車場周辺にあった土砂が津波の排水時に、戻り流れに伴って再配列したものと推定される。この付近には、他にも細粒砂からなるカレントリップルも多数観察された。水理学的に見て、デューンはリップルより速い流れによって生じるベッドフォームであることが知られている。

ここでAllen and Homewood (1984)が用いた粒度と水深によって古流速を推定する方法を用いて、これらのベッドフォーム生成条件を概算してみた。上述したとおり、大津港の最高潮位は2.9mであったので、ここでは堆積場の水深を2.0mと仮定して計算を行った。この結果、この条件下において、1cm径の礫がデューンを生成するためには、10.4m/秒の流速が、0.25mm径の砂粒子がリップルを生成するためには、



第3図 大津港における津波の土砂移動の例。戻り流れによる舌状砂体とその末端に生じたカレントリップル(a)、戻り流れで生じた3Dグラベルデューン(b)。矢印の向きと方位は流れの向きを示す。

0.8m/秒の流速が必要となる。これらの値は過去に計測された津波の流速の範疇にある(松富・首藤, 1994)。但し、この場の水深は時間経過とともに低下していった筈なので、正確な流速の算出は難しく、これらの流速はこの場での最大値と見なして良いであろう。よって、グラベルデューン生成時が戻り流れ初期の高潮位時、カレントリップル堆積時がその末期の低潮位時と解釈するのが妥当であろう。

この様に多様な粒径が混じった堆積物がその供給源として存在し、それが流下した場合、粒子サイズごとの流速が記録されたベッドフォームが各種残される可能性がある。この事実は、1993年北海道南西沖地震津波による堆積物を記載したSato *et al.* (1995)や七山・重野(2004)の記述を支持している。

ところで、今回の地震の一番の被災地は豊頃町大津地区であり、液状化によって道路が寸断され、一時的に孤立状態におかれたことが知られている。豊頃町大津港周辺の十勝川右岸(大津市街築堤)においては、地震動に伴う液状化現象により大規模な側方流動が生じたことがマスコミでも広く報道されていた



第4図 十勝川河畔の大津市街地築堤において生じた大規模側方流動、付近には各種の液状化痕跡が認められた。白い矢印は流動方向の向きを示す。

(第4図)。もし今回よりも大きな規模の地震動と大規模な崩壊が発生し、その直後に、津波が十勝川河口に押し寄せてきた場合、この河岸堤が決壊する可能性も否定しきれず、その際には大津地区は更に深刻な状況に陥っていたであろう。

2. 大樹町～広尾町沿岸地域

津波発生から2日後の9月28日に、十勝沿岸の湧洞沼から広尾町十勝港にかけての地域で調査を実施した(第1図)。この地域の海岸においては、津波の残した流木や浮遊物が主に津波限界付近に帯状に密集して分布し、分布範囲から遡上高が約2～4m程度で

あることが確認され、いわゆる暴浪時の波の遡上高を下回ることが判明した(第5図)。

ところで、十勝海岸地域には多くの海跡湖の存在が知られている。大樹町の生花苗沼もその一つであり、海水が満潮時に流入する汽水環境の湖沼である。今回の津波流入によって、湖沼内において環境変化が認められるか否かが、重要な観察ポイントであった。

我々の観察によれば、この湖沼ではラグーン底の泥が流入した津波の波動によって攪拌され、水位が上昇した層準まで泥が付着していた(第6図)。これから読み取れる湖沼内の水位上昇は2m以内であり、明



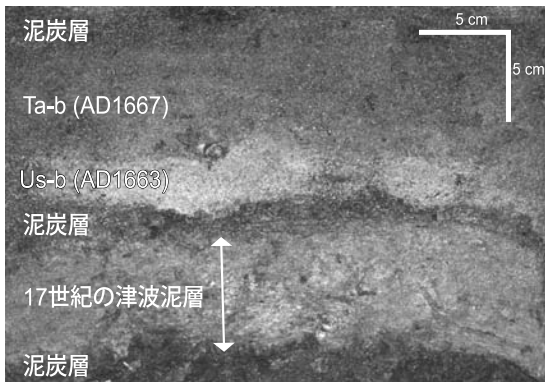
第5図
ホロカヤントー沼の浜堤における津波遡上高の測定風景。ここでは3.8mの遡上高が観察された。暴浪時に生じるオーパーウォッシュはこの浜堤を越流し、湖沼側に小規模なウォッシュオーバーファンを多数作っている。



第6図 生花苗沼湖岸における水位上昇痕跡。ラグーン泥底起源の泥が湖岸斜面に広く付着している。

らかに外洋に面した砂浜の遡上高と比較して、低い値となっている。

生花苗沼のようなラグーンにおいて、津波が流入することによって生じる痕跡は、我々がよく知っている砂層や礫（もしくは礫層）ではなく、泥層として残る可能性もあるだろう。実際に、今回の津波によって、湖沼周辺には広く泥層が付着していることを確認した（第6図）。一方、北海道東部太平洋沿岸地域は、17世紀に巨大津波の襲来を受けた可能性が指摘されている（Nanayama et al., 2003）。生花苗沼奥で観察される17世紀の津波痕跡はラグーン泥底起源の泥層のみからなっており、ここから産出する珪藻群集も明確に汽水環境を示準する（第7図）。

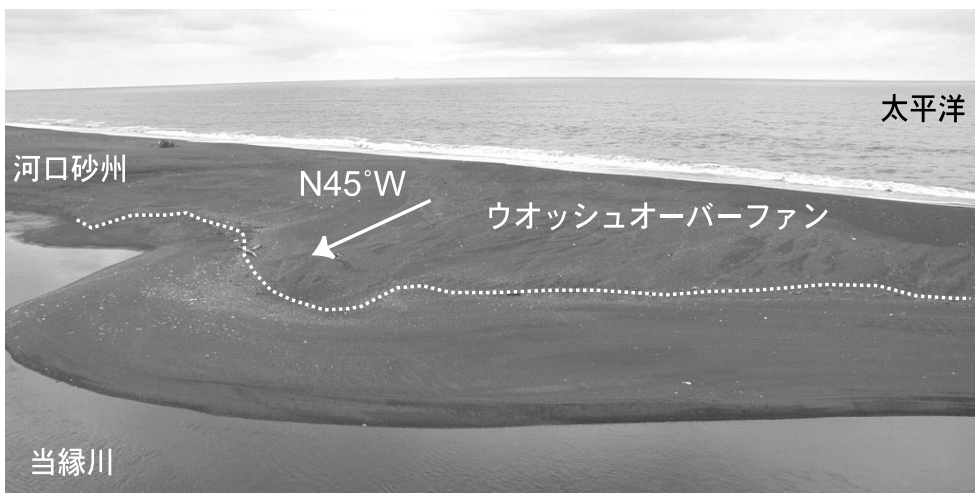


第7図 生花苗沼奥に認められる17世紀の巨大津波痕跡。Ta-b, Ko-c2は江戸時代に道南の樽前山および駒ヶ岳より飛来した火山灰層。ここでの17世紀津波痕跡はラグーン泥起源の泥層のみからなっている。

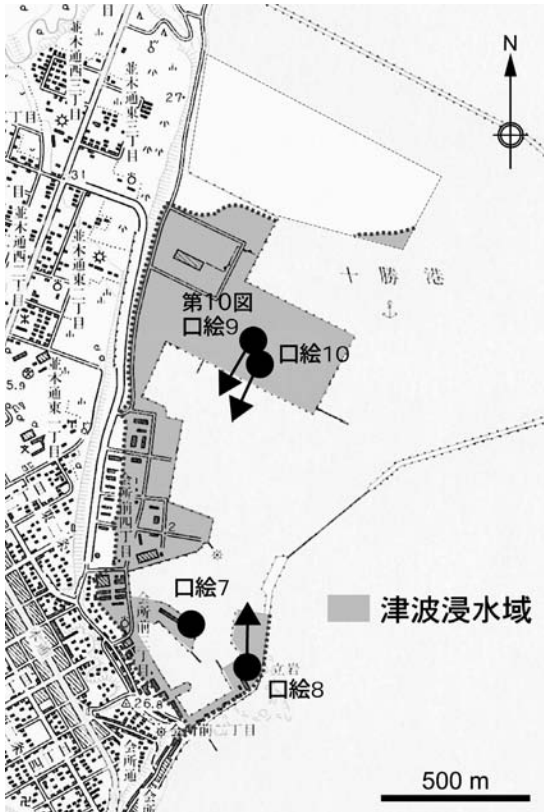
^{とうべり}当縁川河口では津波が河口砂州を越流し、その表層をサージ状態で流れて生じたウオッシュオーバーファン (washover fan; Schwartz, 1982) が観察された（第8図）。オーバーウオッシュ (overwash) は、暴浪時にバームや砂嘴を越えて生成される堆積構造の総称であり、これが津波遡上の際にも普通に生じることが確認されたことは、重要であろう。

3. 十勝港

十勝港は十勝支庁最大の港湾であり、今回の津波においても一番大きな経済的な損害を被った。同港



第8図 ^{とうべり}当縁川河口の砂州上に生じた、今回の津波によって生じたウオッシュオーバーファン。

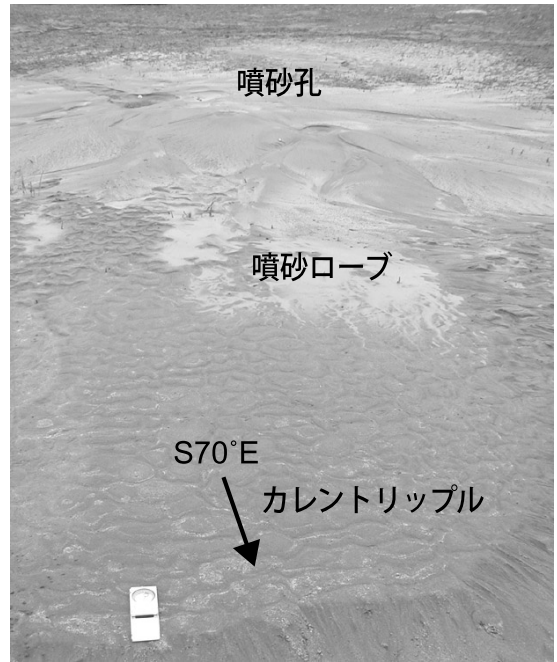


第9図 十勝港における津波浸水域。図中に撮影された数字は、写真の位置を示す。矢印は堆積構造から読み取れた流れの向きを示す。

では、広尾海上保安署への職員によって、港内の浸水状況が撮影されている(口絵6)。撮影者の聞き取りの結果、「津波はゆっくりと上昇し、数十秒間か数分間停滞していたように見えたが、引き潮時には激流のように見え、港内の車やコンテナ等が全て海側に引き込まれてしまう感じがした」という情報を得ることができた。実際に、十勝港では、引き潮によって埠頭に駐車していた10数台の車が海水中に没したことが報道されている。

広尾町職員と広尾海上保安所が地震津波発生当日に実施した被害報告に基づいて、十勝港の津波浸水図を作成した(第9図)。なお、埠頭に残された痕跡から、十勝港港内における最大浸水高は約2.1mであったことが判明している。

9月28日に行った十勝港内の調査では、前述の証言を裏付けるように、大規模なカレントクレスセントマーク(口絵10)が観察された。また、大津港同様に、引

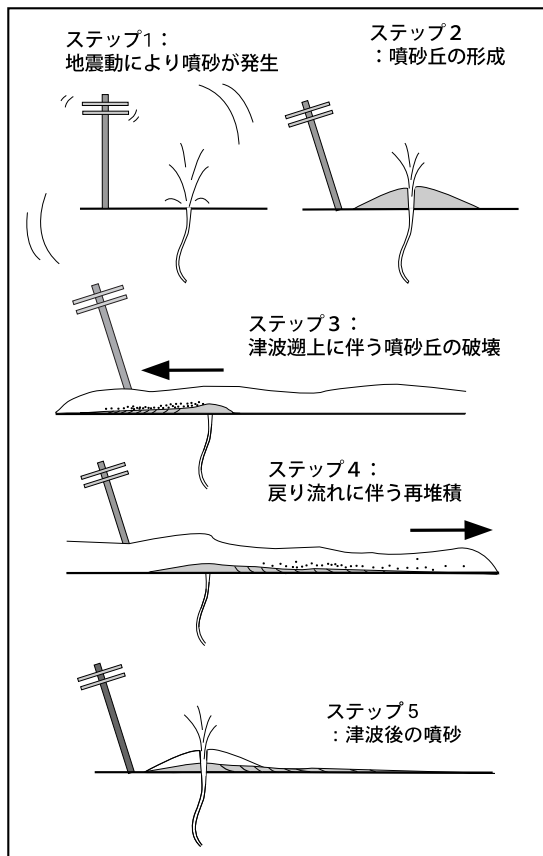


第10図 噴砂と津波現象の重複関係。戻り流れによって生じたカレントリップルを噴砂ロープが覆っている。この産状から、継続した噴砂現象の存在、もしくは津波後の余震による噴砂の再活動が示唆される。

き潮時に港内の土砂が海側に輸送されることによって生じたカレントリップルも多数観察された。同時に、峰の丸いウエーブリプルも認められ、これらは埠頭上での海水停滞時に、小規模な風波によって生じたものと推測される。

一方、港内の埋め立て地においては、大規模な液状化が発生し、地盤が大きく波打った状態に陥っていた。ここでは、噴砂現象も多数確認された(口絵8)。噴砂丘は富士山とよく似た円錐状の成層形態を示しており、その頂上には明瞭な噴砂孔も観察できた。これらのうちで最大のものは、径5mにも達していた。これら噴砂の供給源は十勝港の埋め立てに使った浚渫土と考えられる。噴砂試料を採取し、その粒度組成について予想的に検討してみたところ、砂分が90%以上であり細粒砂が主体であることが分かった。

これらの噴砂が津波により再堆積することによって、カレントリップルが生じ、さらにその上位が逆に噴砂ロープに覆われる産状が観察された(第10図)。こ



第11図 噴砂と津波の重複現象を示す説明図.

の産状の記載から、以下のような堆積プロセスが復元されよう(第11図).

- ・ ステップ1:地震により大規模な液状化現象が発生し、噴砂が起こった.
- ・ ステップ2:噴砂丘が形成された.
- ・ ステップ3:津波来襲によって港内の海面が上昇し、これに伴って噴砂丘も水没し、遡上流によって破壊された.
- ・ ステップ4:戻り流れによって、再度砂が流されてカレントリップルが生じた.
- ・ ステップ5:余震活動により再び噴砂が発生し(もしくは、噴砂現象が継続していた)、津波堆積物を覆った(第10図).

そして、この堆積モデルから、2つの重要点が指摘出来る.

(1) 噴砂現象と津波による流砂現象は近接して(もしくは重複して)起こりうる.

(2) 津波堆積物の供給源は、海成微生物遺骸の含有を根拠として、一般に海成砂(もしくは海浜砂)と考えることが多い.しかし、その立地状況によっては、噴砂もその供給源となりうる事が指摘される.さらに、これらの噴砂は一度海水中に水没し水流によって淘汰されるため、海浜砂との区分は実質不可能であろう.

我々の経験に基づくならば、アメリカ北西岸の潮汐泥底堆積物中には、カスケーディア大地震によって生じた噴砂や津波砂層が入り交じって観察出来るが(例えば、Atwater, 1992)、これらの一部は明らかに側方遷移しており、一度地表に噴出した噴砂が津波によって浸食されて、津波砂の起源となっている可能性が十分示唆される.このことは、“津波堆積物の供給源”を考察する上での新しい観点を提示していると考ええる.

まとめ

2003年十勝沖地震津波の痕跡から求められた遡上高は標高2~4m程度であり、この程度の津波の遡上規模では、2004年インド洋大津波のような海浜砂を浸食して陸側に輸送する大規模土砂移動は発生しないことが、現地調査の結果、明らかとなった.但し、大津港や十勝港においては、戻り流れによって港内の土砂が輸送されることによって生じた様々な堆積構造が多数観察され、その方向や速度をある程度知ることができた.今後、このような津波による土砂移動に関する堆積学的な基礎データを蓄積することによって、将来の津波による沿岸浸食や港湾内の堆砂等の沿岸土砂災害に関する予測がある程度可能となるかもしれない.

一般に津波痕跡は、その後の数日中には風雨や人為的な行為によって消去されてしまうのが通例であり、その後、地層として保存されるものは条件的に限られる筈である.この場合、ある程度の堆積学の知識を持った研究者グループが、被災後出来るだけ早く現地に到達し、多くの記載を残すことが重要と言えよう.

おわりに

2003年十勝沖地震津波での行方不明者は2名のみ



第12図 津波警報解除前の大樹町旭浜における津波遡上高の測定風景。海岸では地元民がアキアジ釣りに興じていた。

であり、これはM8クラスの地震の規模から見て奇跡的なものであったと言える。ところで、我々が、余震に怯えながら十勝海岸で調査し、救助隊が行方不明者の捜索を行っている傍らでは、地元民によってアキアジ釣りが行われていた(第12図)。彼らに“まだ余震も収まりきっていない津波警報発令中の状況にもかかわらず、海岸で釣りをして、津波の恐怖は全く感じないのか？ 罪悪感はないのか？”と問いかけたところ、多くの者からは返事が無かった。

日本は地震津波被災大国であり、かつ地震津波研究の先進国でもある。2004年インド洋津波被災地にも多くの日本人研究者が赴いて、津波警報システム構築のための技術協力や地震津波に関する啓蒙的な活動を行っていることは、世界的にもよく知られている。ところが、“TSUNAMI”という国際語発祥の地であり、その研究レベルでも世界のトップクラスと目されているこの国にあって、しかも地震津波の多発地域として警戒されている十勝海岸地域であっても、住民レベルでの地震津波に対する意識が高いとは感じられない。

凡に、ここ半世紀の間に、道東太平洋沿岸地域において、大規模な津波被害をもたらしたのは、1952年十勝沖地震津波(M8.2)および1960年チリ地震津波(M9.5)であり、今回以上の被害を被った。この津波被害からほぼ半世紀を経過し、世代交代も相まって、

当時の悲しい記憶は心の片隅に追いやられてしまっている。科学的に考えれば、この地を再び津波が襲うことは確実であるが、せめて次回のイベントが、最近マスコミでも広く取り上げられている“500年周期で発生した北海道東部の連動型巨大地震津波”(Nanayama *et al.*, 2003)にならないことを、願うのは我々研究者や技術者だけではないはずであろう。

なお、この調査を実施するにあたり、前広尾海上保安所小山耕一氏、広尾町および豊頃町の職員の皆様には、ご多忙中にもかかわらず情報や資料の提供をしていただいた。帯広開発建設部十勝港湾事業所の関係者には、豊頃町大津港の空中写真の使用を許可して頂いた。産総研・活断層研究センターの杉山雄一氏、佐竹健治氏と下川浩一氏には地震津波について平素からご教授頂いており、今回の緊急調査の際にも七山 太に対し、特段のご配慮を賜った。また、活断層研究センターの鎌滝孝信氏には、我々の調査の一部を手伝って頂いた、ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Allen, J.R.L. and Homewood, P. (1984) : Evolution and mechanics of a Miocene tidal sandwave. *Sedimentology*, 27, 209-218.
Atwater, B.F. (1992) : Geologic evidence for earthquakes during the past 2000 years along the Copalis River, Southern coastal Washington. *Jour. Geophys. Res.*, 97, 1901-1919.
Dawson, A.G., Shi, S., Dawson, S., Takahashi, T. and Shuto, N.

- (1996) : Coastal sedimentation associated with the June 2nd and 3rd, 1994 Tsunami in Rajegwesi, Java. *Quat. Sci. Rev.*, 15, 901-912.
- Gelfenbaum, G. and Jaffe, B. (2003) : Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea tsunami. *Pure Appl. Geophys.*, 160, 1969-1999.
- 平田賢治・谷岡勇市郎・佐竹健治・山本 滋 (2005) : 検潮記録上の津波到達時刻から推定した2003年十勝沖地震の津波波源域と1952年十勝沖地震との関係. 月刊地球号外, no. 49, 162-167.
- 今村文彦 (2005) : 十勝沖地震津波の挙動と被害. 月刊地球号外, no. 49, 152-161.
- 今村文彦・箕浦幸治・高橋智幸・首藤伸夫 (1997) : 最近の津波による土砂移動に関する現地調査. 津波工学研究報告, no. 14, 89-100.
- 今野円蔵・岩井淳一・高柳洋吉・中川久夫・小貫義男・柴田豊吉・三位秀夫・北村 信・小高民夫・片岡 純 (1961) : チリ地震津波による三陸沿岸被災地の地理学的調査報告. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, 52, 1-45.
- 松富英夫・首藤伸夫 (1994) : 津波の浸水深, 流速よ家屋被害. 海岸工学論文集, 41, 246-250.
- Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Shigeno, K. and Atwater, B.F. (2003) : Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril Trench. *Nature*, 424, 660-663.
- 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, no. 58, 19-33.
- 西村裕一・宮地直道 (1994) : 北海道南西沖地震に伴う津波堆積物の分布および粒度特性. 月刊地球号外, no. 7, 139-147.
- 札幌管区気象台 (2004) : 「平成15年(2003年)十勝沖地震」調査報告書～被害状況からみた地震と津波～. 札幌管区気象台編, 1-127.
- Sato, H., Shimamoto, A. and Kawamoto, E. (1995) : Onshore tsunami deposits caused by 1993 Southwest Hokkaido and 1983 Japan Sea Earthquake. *Pure Appl. Geophys.*, 144, 693-717.
- Schwartz, R.K. (1982) : Bedform and stratification characteristics of some modern small-scale washover sand. *Sedimentology*, 29, 835-849.
- Shi, S., Dawson, A.G. and Smith, D.E. (1995) : Coastal Sedimentation associated with December 12th, 1992 Tsunami in Flores, Indonesia. *Pure Appl. Geophys.*, 144, 525-536.
- Tanioka, Y., Nishimura, Y., Hirakawa, K., Imamura, F., Abe, I., Abe, Y., Shindou, K., Matsutomi, H., Takahashi, T., Imai, K., Harada, K., Namegawa, Y., Hasegawa, Y., Hayashi, Y., Nanayama, F., Kamataki, T., Kawata, Y., Fukasawa, Y., Koshimura, S., Hada, Y., Azumai, Y., Hirata, K., Kamikawa, A., Yoshikawa, A., Shiga, T., Kobayashi, M. and Masaka, S. (2004) : Tsunami run-up heights of the 2003 Tokachi-oki earthquake. *Earth Planets Space*, 56, 359-365.
- 谷岡勇市郎・西村裕一・平川一臣・今村文彦・安部郁男・阿部祥・進藤一弥・松富英夫・高橋智幸・今井健太郎・藤間功司・原田賢治・行谷祐一・長谷川洋平・林 豊・吉川章文・上川明保・志賀 透・小林政樹・眞坂精一・鎌滝孝信・七山 太・佐竹健治・河田恵昭・深澤良信・越村俊一・秦康範・東井裕介・平田賢治 (2005) : 2003年十勝沖地震の津波遡上高調査および十勝大津漁港での津波数値計算. 月刊地球号外, no. 49, 128-136.

NANAYAMA Futoshi, SHIGENO Kiyoyuki, SOEDA Yuji and ISHII Masayuki (2006) : The debris transportation associated with the September 26th, 2003 Tokachi-Oki Earthquake tsunami: Their importance of sedimentological descriptions just after the tsunami.

<受付: 2006年1月31日>