

### 3. 3. 4 北海道太平洋沿岸と三陸海岸における津波堆積物調査

#### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2 ヶ年の年次実施業務の要約
  - 1) 平成 24 年度
  - 2) 平成 25 年度

#### (2) 平成 24 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) 北海道太平洋沿岸での津波堆積物調査による成果
  - 2) 青森県三沢海岸における 2011 年東北沖地震津波堆積物の追跡調査の成果
- (d) 結論ならびに今後の課題
  - 1) 北海道太平洋沿岸での津波堆積物調査による成果
  - 2) 青森県三沢海岸における 2011 年津波堆積物の追跡調査の成果
  - 3) 今後の課題
- (e) 引用文献

### 3. 3 海底堆積物調査等

#### 3. 3. 4 北海道太平洋沿岸と三陸海岸における津波堆積物調査

##### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 北海道太平洋沿岸と三陸海岸における津波堆積物調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 北海道大学大学院理学研究院	教授	谷岡勇市郎
国立大学法人 北海道大学大学院理学研究院	助教	西村裕一
国立大学法人 北海道大学大学院理学研究院	博士研究員	中村有吾
国立大学法人 北海道大学大学院理学研究院	非常勤研究員	アディティア・リ
国立大学法人 北海道大学大学院理学研究院	非常勤研究員	アディ・グスマン

(c) 業務の目的

北海道沿岸及び三陸海岸での津波堆積物の検出に努め、北海道から東北地方太平洋岸における広域対比を行うことによって、古津波のサイクルと規模を解明する。とくに、従来の堆積相解析に粒子画像解析などを併用することによって津波堆積物の認定と対比を完成するとともに、巨大津波の時空分布を復元することによって波源域となる震源断層の推定や津波シミュレーションを行う材料を提供する。得られた成果を他のサブテーマと共有し議論を深めることにより、東北地方太平洋沖で起きる可能性のある巨大地震のサイクルモデルを構築する。

(d) 2 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 24 年度：

北海道太平洋沿岸及び三陸沿岸を対象に、ボーリング及びジオスライサーによる掘削調査などの津波堆積物調査を実施し、この地域における過去の地震、津波の履歴や遡上範囲等の評価を行う。個々の津波堆積イベントを対比し、同一イベントを特定するため、粒子画像分析装置を用いた堆積物の粒度分析・堆積物の組成分析等を実施する。さらに、必要に応じて両地域の間にあたる下北半島の調査と 2011 年津波堆積物の追跡調査を実施し、評価の高度化を図る。北海道太平洋沿岸及び三陸沿岸での津波堆積物調査の準備を実施した。

2) 平成 25 年度：

平成 24 年度までに実施された北海道太平洋沿岸及び三陸沿岸を対象に、ジオスライサーによる掘削調査などの津波堆積物調査データにより、この地域における過去の地震、津波の履歴や遡上範囲等の評価を行う。個々の津波堆積イベントを対比し、同一イベントを特定するため、粒子画像分析装置を用いた堆積物の粒度分析・堆積物の組成分析等を実施する。さらに、必要に応じて両地域の間にあたる下北半島の調査と 2011 年津波堆積物の追跡調査を実施し、評価の高度化を図る。

## (2) 平成 24 年度の成果

### (a) 業務の要約

北海道太平洋沿岸、釧路市鶴野の湿地で 2 層の津波堆積物 (TS 1 及び TS 2) を記載した。TS 1 は、樽前 b 火山灰 (西暦 1667 年) の下位数 cm に、TS 2 は白頭山 苫小牧火山灰 (約 1000 年前) の上位数 cm ~ 10 cm にある。この 2 層はいずれも層厚 1 ~ 3 mm の薄層だが、海岸から 2120 m 地点 (標高 5.9 m) まで分布する。1/16 φ スケールでの高精度粒度分析によって地点ごとの対比が可能である。釧路の TS 1 及び TS 2 は、根室や十勝で記載された津波堆積物に対比される可能性がある。さらに 17 世紀の巨大地震の断層モデルから計算される津波とも調和的であることが確認された。

また、津波堆積物の形成後の変質・保存状況を調べるため、青森県三沢海岸に分布する 2011 年東北地方太平洋沖地震津波堆積物について、津波発生後 1 年の時点での層相、層厚、堆積物分布、被覆層の有無について調べた。2012 年 5 月の時点で、遡上限界付近の薄い砂層は、すでに流出したか土壌に取り込まれており、砂層として認められない。いっぽう、海岸砂丘背後に分布する層厚 2 cm を超える堆積物には顕著な変化は見られなかった。森林内では、津波堆積物は植物遺体層・腐植層に覆われ、侵食・擾乱から保護されている。

### (b) 業務の実施方法

北海道太平洋沿岸及び三陸沿岸を対象に、ボーリング及びジオスライサーによる掘削調査などの津波堆積物調査を実施し、この地域における過去の地震、津波の履歴や遡上範囲等の評価を行う。個々の津波堆積イベントを対比し、同一イベントを特定するため、粒子画像分析装置を用いた堆積物の粒度分析・堆積物の組成分析等を実施する。さらに、両地域の間にあたる下北半島の調査と 2011 年津波堆積物の追跡調査を実施し、評価の高度化を図る。

### (c) 業務の成果

#### 1) 北海道太平洋沿岸での津波堆積物調査による成果

##### a) 調査と調査地域の概要

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震津波は、太平洋沿岸の広い地域に甚大な被害をもたらした。大規模な津波は、北海道の東部太平洋沿岸地域においても、数百年周期で繰り返し発生したとされる。19世紀以前の古文書・観測記録が存在しない北海道東部では、過去数百年間に発生した津波の性質を明らかにするためには、野外地質調査にもとづいた考察が必要である。実際に北海道の太平洋沿岸では、平川(2012)、平川ほか(2000a; 2000b; 2005)、七山ほか(2000, 2001a, 2001b, 2002, 2004)、Nanayama *et al.* (2007)、添田ほか(2003)といった研究成果がある。また、筆者らも昨年度までに、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室で詳細な津波堆積物調査をおこなってきた。これらの調査によって、十勝及び根室沿岸では詳細な津波層序が明らかになっている。しかし、釧路市周辺では十分な調査がおこなわれたとはいえない。釧路市は人口19万人の大都市であり、また釧路湿原に代表される低地が広がるため、ひとたび津波が発生した際には甚大な被害が予想される。

そこで、平成24年度は釧路市周辺における津波堆積物調査をおこなった。釧路市大楽毛から釧路町までの海岸線で津波堆積物分布調査をおこなった結果、釧路市鶴野の湿地(図1. 海岸線から1.5~2km付近)に津波堆積物が存在することが明らかになった。調査地域では、3つの測線(西測線、中央側線、東測線)を設け、それぞれ海岸に最も近い掘削可能地点(海岸から1420~1510m)から、津波堆積物が認識できる最も内陸の地点(海岸から1970~2120m)まで、約200m間隔で、ハンディジオスライサー(全長100cm)による掘削調査を実施した。堆積構造を詳細に記載するために、水反応性グラウト材によるはぎとりをおこなった。室内分析に用いるため、津波堆積物の試料を採取した。掘削地点の位置及び高度はGPS機器(ジオサーフ社製ProMark3)で測定し、測定結果は浦幌、音別、厚岸にある国土地理院電子基準点の観測データを用いて補正した。標高値は楕円体高で示されるので、国土地理院が提供する「日本のジオイド2000 Ver. 5」をもとに調査地域のジオイド高をもとめ、ジオイドからの高さに換算した。

掘削調査によって得た津波堆積物は、実験室において前処理及び粒度組成分析をおこなった。野外で採取した試料には植物遺体や腐植などの有機物が含まれるので、濃度30%の過酸化水素水に浸したうえで70℃に加熱することで有機物を除去した。過酸化水素の反応終了後(4時間後)に、試料に含まれる泥水を捨て、真水で過酸化水素を洗い流した上で、試料を乾燥させた。試料の粒度組成分析には粒子画像分析装置(モフォロギG3, マルバーン社製)で測定した。なお、モフォロギG3では0.5 $\mu$ m~10mmの範囲の測定が可能であるが、細粒物質については測定誤差が大きいので、4 $\mu$ m(8 $\Phi$ )より粗粒の粒子についてデータ処理をおこなった。

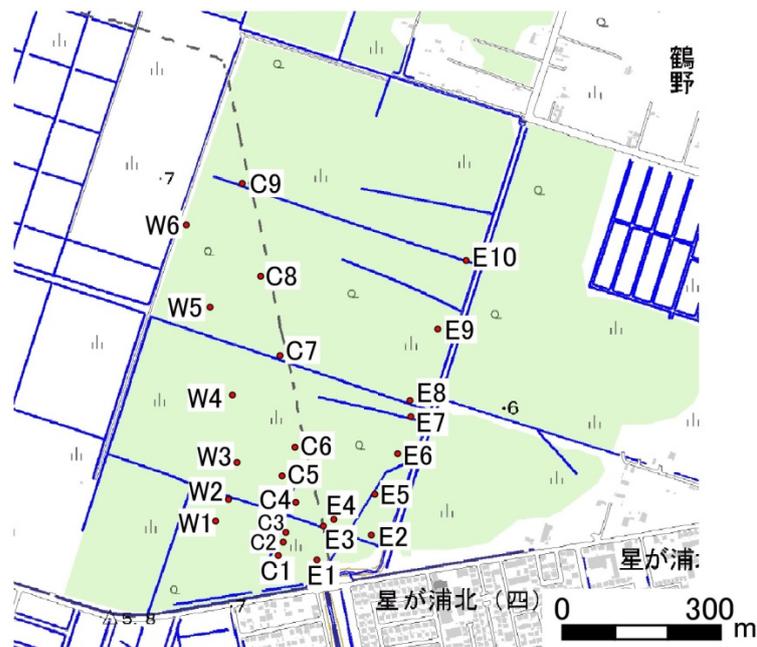
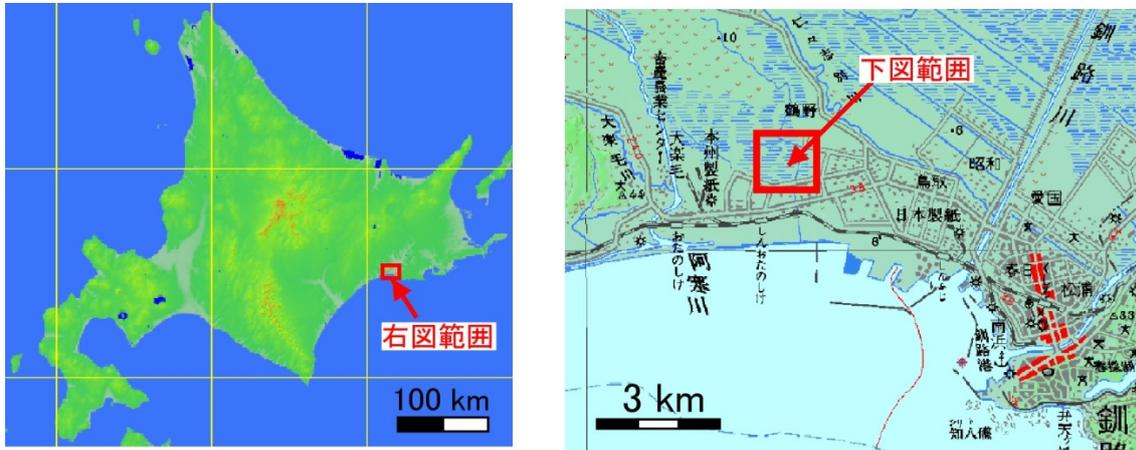


図1 釧路市鶴野における津波堆積物調査地点。西測線 (W1～W6)、中央側線 (C1～C9)、東測線 (E1～E10) の3測線を設けた。地図の作成に当たっては、Jet Propulsion Laboratoryの全世界30秒メッシュ地形データ (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)、国土地理院発行数値地図200000(地図画像)、国土地理院電子国土基本図 (<http://portal.cyberjapan.jp/>) を用い、描画にはカシミール3D (<http://www.kashmir3d.com/>) を使用した。

b) 掘削調査の結果

調査結果にもとづく堆積物層序を図2に示す。本調査地域には以下の示標テフラ分布す

る：樽前 a テフラ（西暦 1739 年：Ta-a、山田、1958）、駒ヶ岳 c2 テフラ（1694 年：Ko-c 2、古川ほか、1997）、樽前 b テフラ（1667 年：Ta-b、山田、1958）、白頭山苦小牧テフラ（約 1000 年前：B-Tm、町田・新井、2003）。これ以降の記述では、テフラの名称は略号で示す。上記の示標テフラは、火山ガラスの主成分化学組成（図 3）粒径、色調、層序、構成粒子（鉱物及び火山ガラス）の特徴などにもとづいて識別した。とくに、図 3 には、上記 4 つのテフラについて、釧路、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室で採取した試料の火山ガラス主成分化学組成分析結果のうち  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  の測定結果を散布図（ハーカー図）で示す。Ta-a、Ko-c 2、Ta-b、B-Tm の測定値は、いずれも一定の化学組成の範囲に収まっており、それぞれ同定が可能である。

釧路市鶴野湿原では、海岸から 1400～1480m の範囲には古砂丘列が存在し比高 1 m 程度の微高地になっている（C 1～C 3 地点及び E 1 地点付近）。この古砂丘列上では、Ta-b の直下に薄い泥炭層があるが、その下位は厚い砂層（砂丘砂）となる（図 2 参照）。その内陸側の地域は谷地坊主の発達する湿地で、泥炭層からなる。泥炭層の厚さは少なくとも 1 m ある。泥炭の下位は泥層となる（図 2 の C 4 及び C 7 地点参照）。

泥炭層の中には、少なくとも 2 層の津波砂層（TS 1 及び TS 2）を記載した。TS 1 は、Ta-b の下位数 cm に、TS 2 は B-Tm の上位数 cm～10cm にある。また、後述する様に、それぞれほぼ一定の粒度組成を持つことから地点ごとの対比が可能で、TS 1 は海岸から 2120m 地点（標高 5.9m）まで、TS 2 は海岸から 1970m 地点（標高 5.8m）まで、肉眼で識別できた。TS 1 及び TS 2 はいずれも層厚 3mm 以下の薄層だが、内陸ほど層が薄くなることから、津波堆積物と考えて良いだろう。なお、TS 1 と TS 2 の間にはシルトや粘土を多量に含んだ褐色の泥炭層が存在する。これについては、分布が不連続であること、地点によって粒径が一定しないことから、ここでは津波堆積物とは考えないこととする。

#### c) 粒子画像分析装置による高精度粒度分析結果

粒子画像分析装置（モフォロギ G 3）による  $1/16\Phi$  スケールでの粒度分析をおこなった。TS 1 についての分析結果を図 4 に、TS 2 についての分析結果を図 5 にしめす。TS 1 は 1.5～2.0 $\Phi$  の中粒砂（図 4）を中心とした堆積物で、地点によっては 3～4 $\Phi$  の極細砂を含む（C 4 地点、E 9 地点など）。これは、局地的に泥や泥偽礫などを取り込んだものであろう。また、C 4 地点及び E 8 地点の TS 1 のように、砂層の上部と下部で粒度組成が異なる場合がある（図 4）。TS 2 は 3.5～4.5 $\Phi$  の極細粒砂～粗粒シルト（図 5）を中心とする堆積物である。このように、TS 1、TS 2 は、それぞれ粒度組成によって地点ごとの対比が可能である。

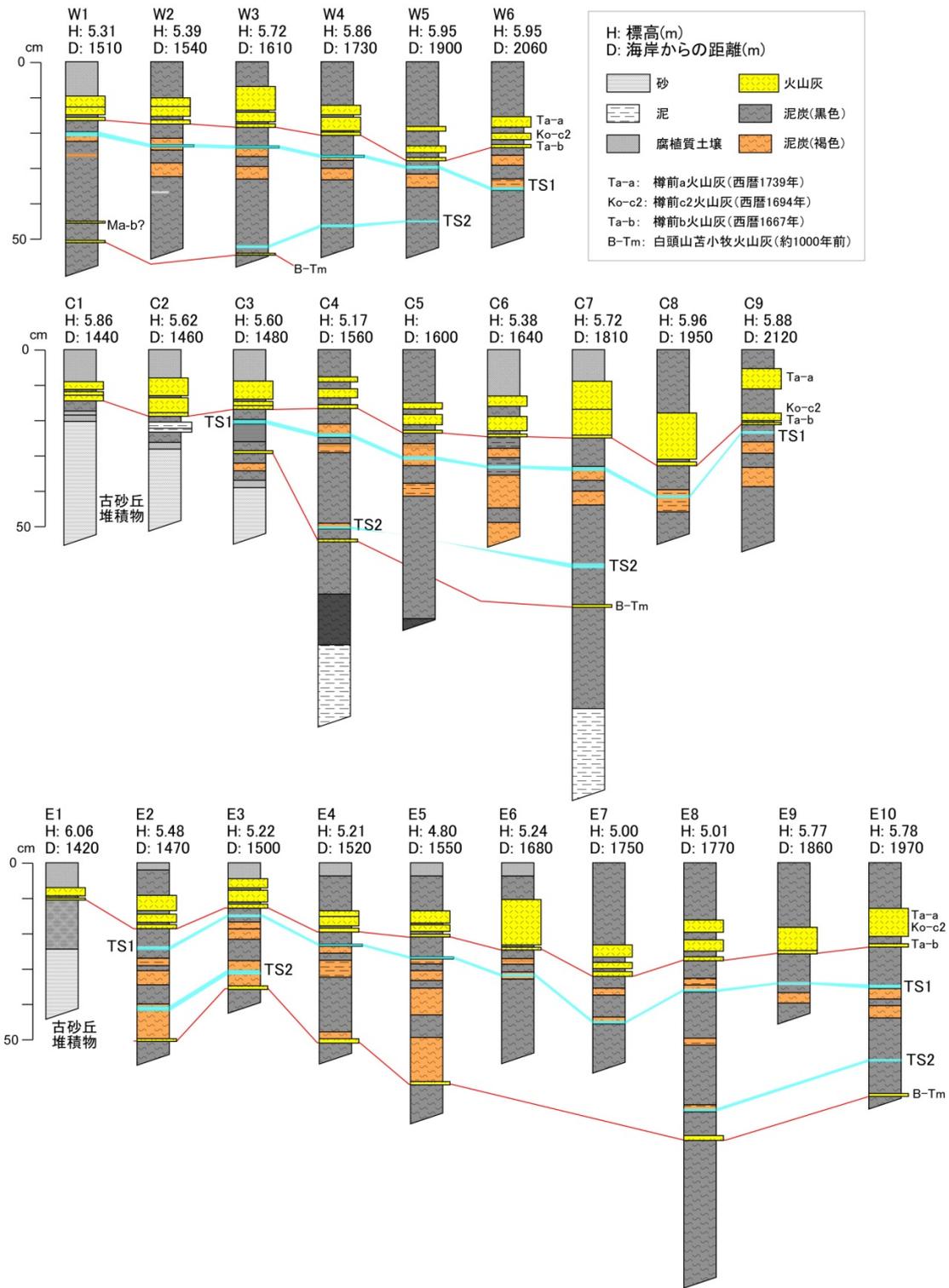


図2 釧路市鶴野における津波堆積物掘削調査結果。TS 1 及び TS 2 は津波堆積物。

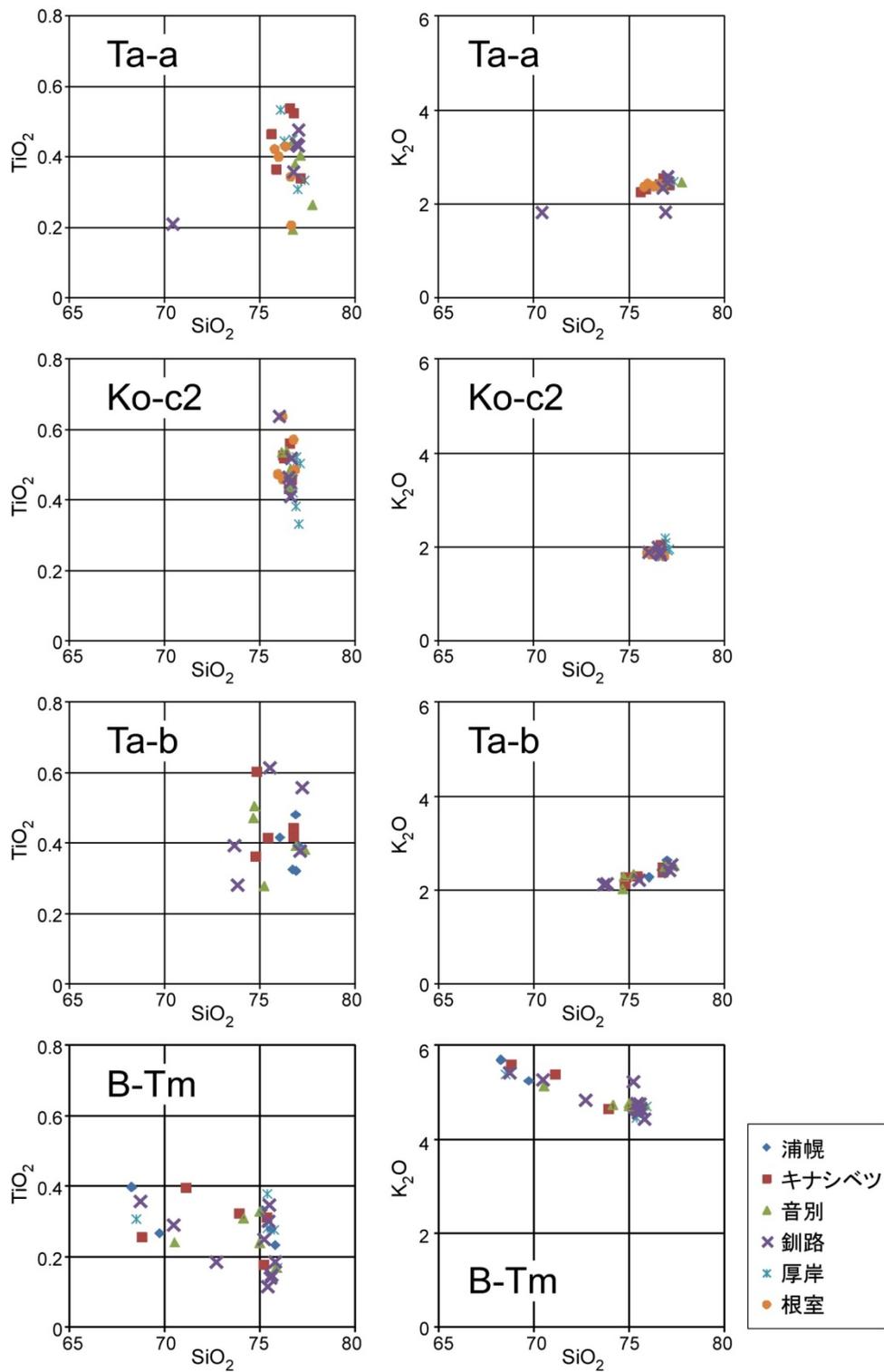


図3 釧路市鶴野、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室の掘削地点で採取した示標テフラの火山ガラス主成分化学組成測定結果。 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  の値による散布図。北海道大学理学部所有のエネルギー分散型X線マイクロアナライザによる測定。

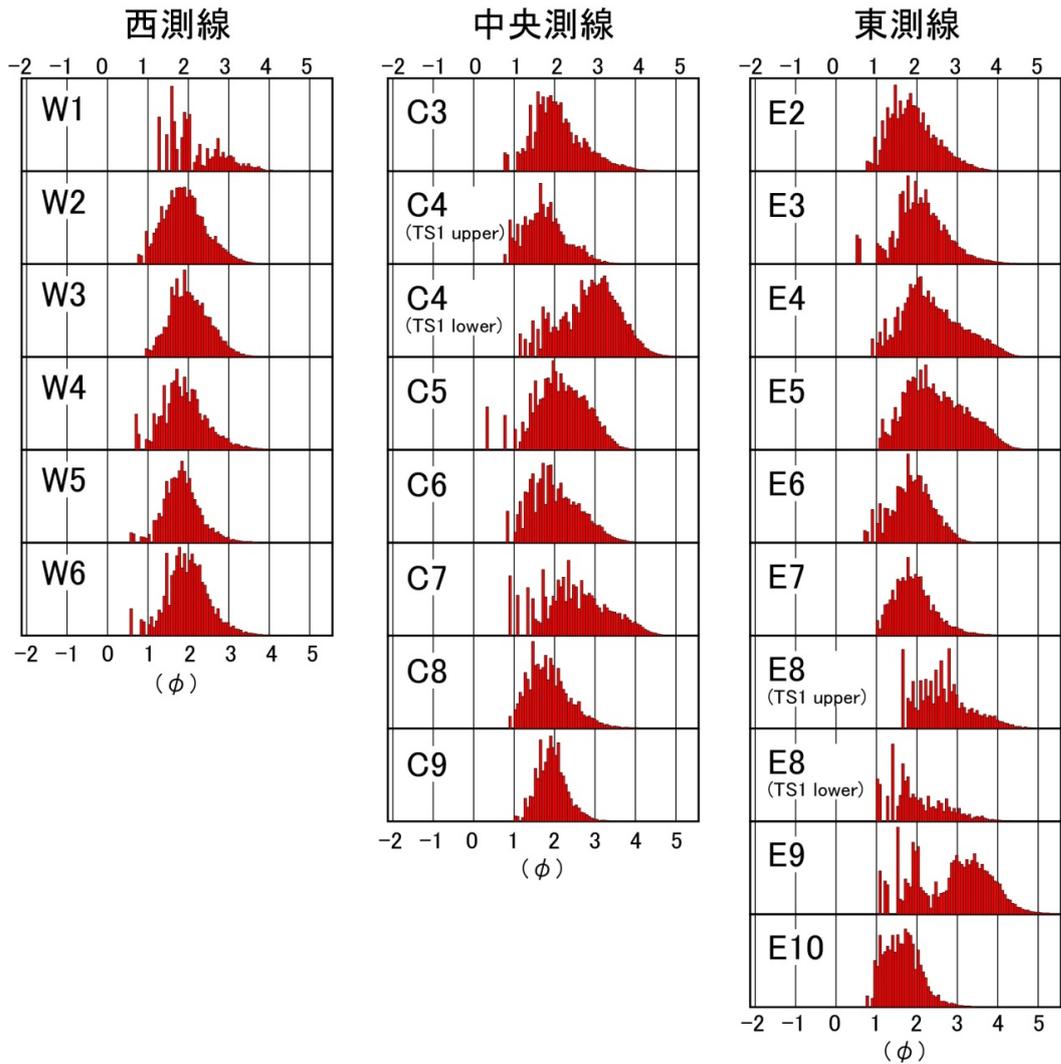


図4 TS1の高精度粒度分析結果。横軸は $\phi$ スケール、縦軸は相対度数。測定には粒子画像分析装置（モフオロギG3、マルバーン社製）を用いた。

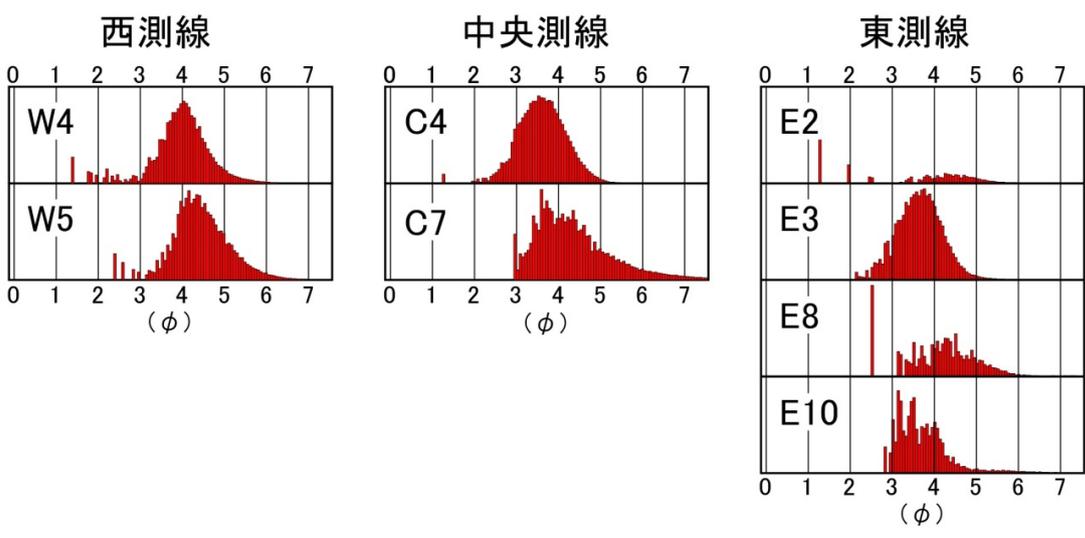


図5 TS2の高精度粒度分析結果。横軸は $\phi$ スケール、縦軸は相対度数。図4とは横軸の範囲が異なることに注意。

d) 他地域との対比について

次に、釧路で記載した TS 1 及び TS 2 が、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室で既に記載されている津波堆積物に対比される可能性を検討する。釧路及び他地域における津波堆積物の層序を図 6 に示す。以下の議論では、地域ごとの津波堆積物を区別するために、地域名を表す略号（釧路なら Ks。他は図 6 参照）に TS 番号を付記して示す（たとえば釧路の TS 1 を「Ks-TS 1」とする）。

上記のように、釧路市鶴野では Ta-b と B-Tm の間に 2 層の津波砂層（Ks-TS 1、Ks-TS 2）が認められた。Ks-TS 1 は、現在の海岸線から少なくとも 2010m の地点まで到達しており、その標高は 5.9m である（図 2）。Ks-TS 2 は、海岸から 1970m、標高 5.8m の地点まで到達している。なお、ここに示した上記 3 測線での到達距離・標高はあくまで津波堆積物の到達範囲であり、実際の津波浸水範囲はこれを超えたと考えるべきである。

次に、以上の調査結果と、他の地点について比較する。浦幌では Ta-b と B-Tm の間に Ur-TS 1、Ur-TS 2 が、B-Tm と樽前 c テフラ（約 2700 年前：Ta-c、柳井・五十嵐、1990；Kelsey *et al.*, 2002）の間に Ur-TS 3 ~Ur-TS 8 がある（図 6）。このうち、Ur-TS 1 の層厚が最も大きく、ついで Ur-TS 2、Ur-TS 5、Ur-TS 8 の順に厚い層をなしていた。いずれも測線上のすべての調査地点で認められたので、海岸から 625m 以上、標高 2.0m 以上に到達したことになる。

キナシベツ湿原では Ta-b と B-Tm の間に 2 層の津波砂層（Kn-TS 1、Kn-TS 2）が認められた。どちらも現在の海岸線から少なくとも 1360m の地点まで到達しており、その標高は 4.9m である。

音別では Ta-b と Ta-c の間に 4 層（On-TS 1 ~On-TS 4）あり、On-TS 1、On-TS 2、On-TS 3 は海岸から 670m 地点（標高 4.7m）まで、On-TS 4 は 590m 地点（標高 4.9m）まで到達した。

厚岸では、Ko-c 2 と B-Tm の間の Ak-TS 1 及び Ak-TS 2 が、少なくとも 1810m 地点（標高 1.4m）まで確認できた。

根室（別当賀）では Ko-c 2 と Ta-c の間に 7 層の津波砂層（Nm-TS 1 ~Nm-TS 7）がある。7 層のうち、層が厚く、最も広く分布するのは Nm-TS 2（分布限界は海岸から 360m、標高 15.5m）で、次いで Nm-TS 1（360m 地点、標高 15.5m）、Nm-TS 4（300m 地点、標高 12.7m）、Nm-TS 7（260m 地点、11.1m）が広く分布する。

現時点では、離れた地域の津波砂層を対比する手法は確立されていない。しかし、示標テフラとの層位関係、津波砂層の層厚・分布規模の違いから、広域対比をある程度推定することは可能である。図 6 に示した 6 地域に共通して、Ko-c 2・Ta-b と B-Tm の間には 2 層の津波堆積物がある。さらに、2 層のうち上位の層は Ko-c 2・Ta-b の直下であり、下位の層は B-Tm の数 cm 上位にある。よって、各地域の TS 1（すなわち、Ur-TS 1、Kn-TS 1、

On-TS 1, Ks-TS 1, Ak-TS 1, Nm-TS 1) は対比される可能性が高く、同じイベントに由来する堆積物であろう。同様に、TS 2 (Ur-TS 2, Kn-TS 2, On-TS 2, Ks-TS 2, Ak-TS 2, Nm-TS 2) についても対比される可能性が高い。

釧路における本調査では、B-Tm と Ta-c 間には津波堆積物を見つけることは出来なかった。しかし、浦幌、音別、根室ではこの層準に津波堆積物が認められる。とくに、浦幌の Ur-TS 5 と Ur-TS 8、根室の Nm-TS 4 と Nm-TS 7 は、比較的大きなイベントによる堆積物と考えられる。音別において B-Tm と Ta-c 間に 2 層 (On-TS 3, On-TS 4) あることを考慮すると、Ur-TS 5、On-TS 3、Nm-TS 4 は対比される可能性が高く、同様に Ur-TS 8、On-TS 4、Nm-TS 7 も同一イベントによる層であろう。このように、北海道東部太平洋沿岸では B-Tm と Ta-c の間 (1000 年前から 2700 年前の間) に 2 回の大規模津波があったと推定される。釧路地域でこの 2 回のイベント堆積物が見つからなかった理由として、この津波が本調査地 (鶴野泥炭地、海岸から 1400m 以上、標高 5 m 以上) まで到達しなかった可能性と、ジオスライサーによる掘削深度が堆積物の産出層準まで到達しなかった可能性がある。

以上議論したように、2700 年前 (Ta-c の降下時期) 以降、北海道東部の太平洋沿岸を襲う大規模な津波が 4 回にわたって発生した可能性が高い。4 回のうち 1000 年前から 350 年前に起きた 2 回の津波はとくに規模が大きく、釧路地域では海岸から約 2 km、標高約 6 m まで到達したと考えられる。

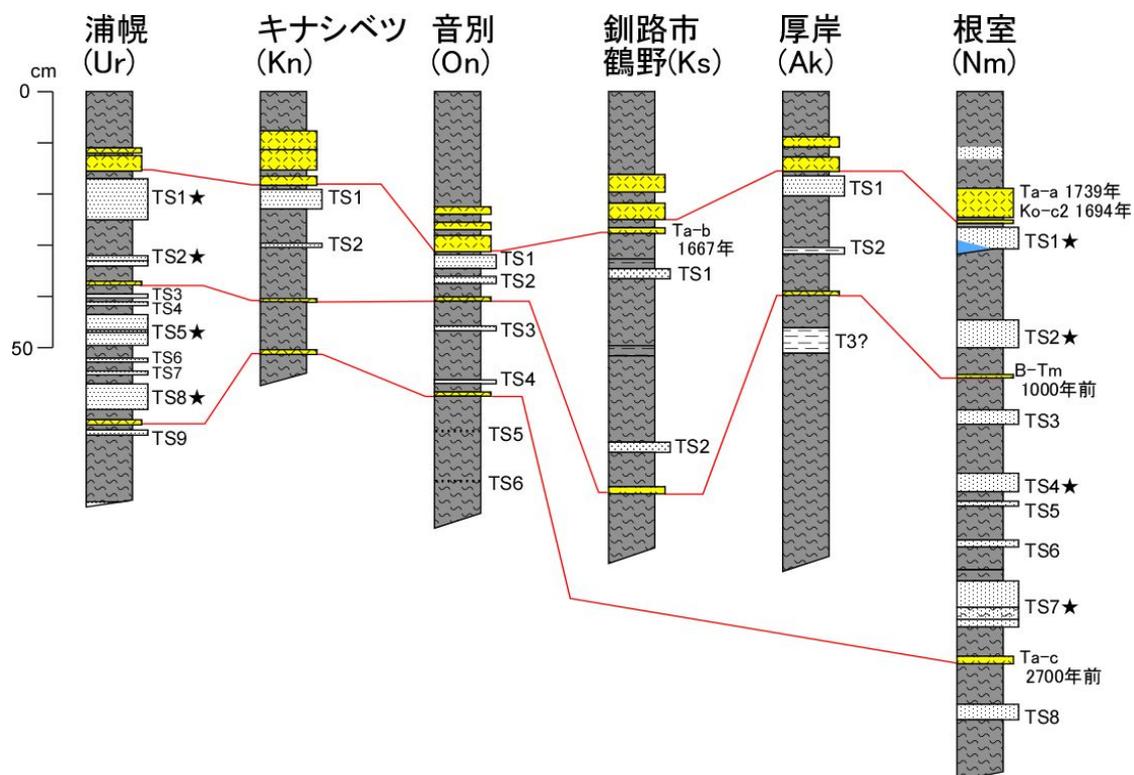


図 6 北海道東部太平洋沿岸の諸地域における津波堆積物の対比。★はとくに規模が大きかったイベントによる考えられる堆積物。

e) 北海道で発生した 17 世紀巨大地震断層モデルとの比較

17 世紀に北海道で発生した巨大地震に対する断層モデルは様々な研究者によって推定されているが、Ioki (2013)はこれまで調査されたほとんどの津波堆積物調査結果を説明できる断層モデルを提案した。その断層モデルは Satake *et al.* (2008)が推定した断層モデル、T(Tokachi-Oki)model(length=100km, width=100km, slip=10m)、N(Nemuro-Oki)model(length=200km, width=100km, slip=5 m)、に Smodel(length=300km, width=30km, slip=25m)を加えた断層モデルである (図 7)。この断層モデルを用いて釧路での津波遡上数値計算を実施したところ、釧路市鶴野湿原まで津波が遡上することが確認され、上記津波堆積物調査結果は 17 世紀巨大地震が Ioki (2013) の推定した断層モデルであった事を支持する結果となった (図 8)。

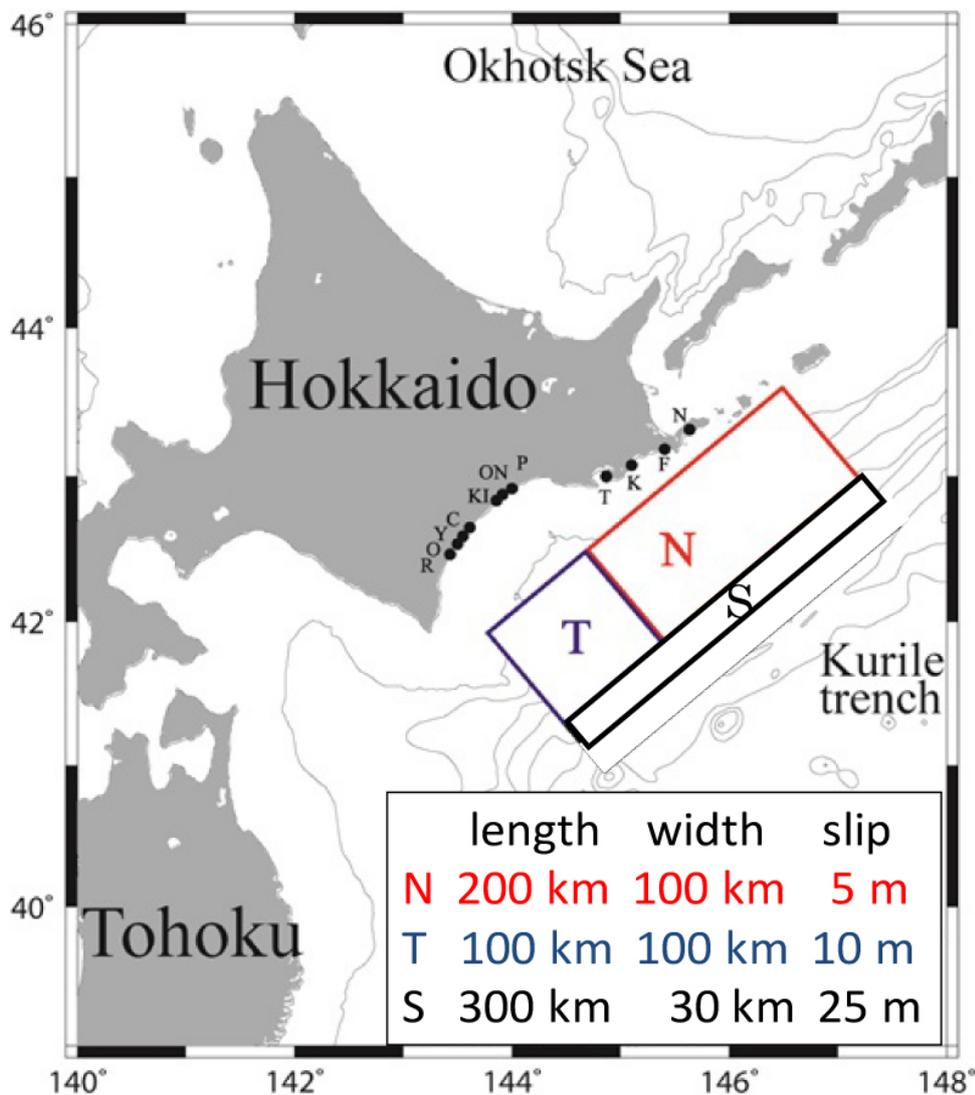


図 7 北海道太平洋沖で発生した 17 世紀巨大地震の断層モデル (Ioki, 2013)

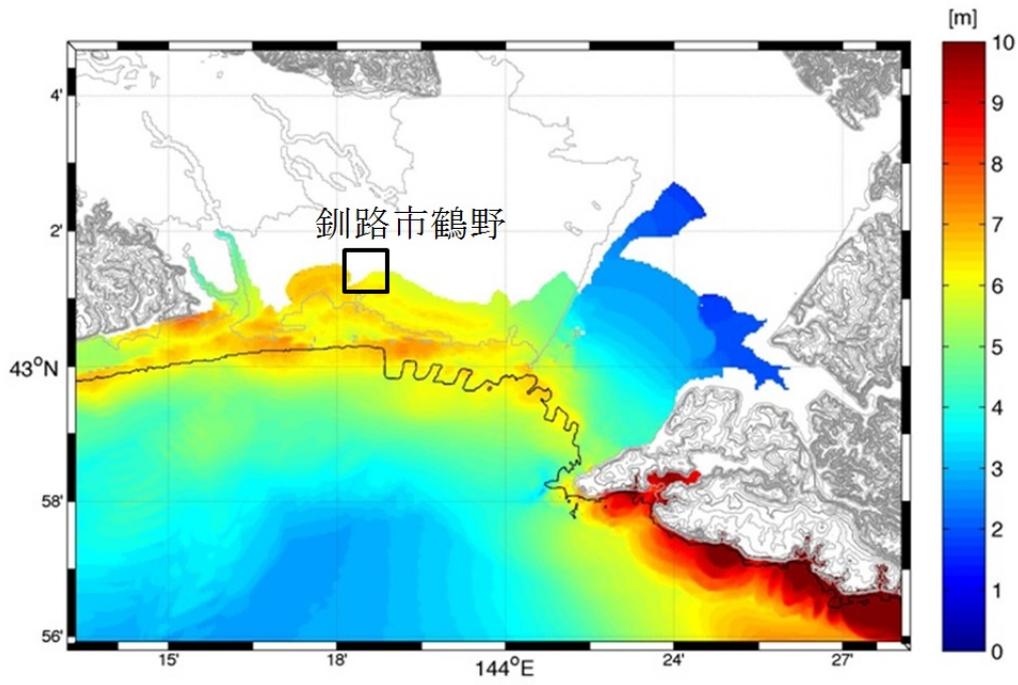


図8 北海道太平洋沖で発生した17世紀巨大地震の断層モデルから計算される釧路市の津波浸水域と津波高と津波堆積物調査域（釧路市鶴野）

## 2) 青森県三沢海岸における2011年東北沖地震津波堆積物の追跡調査の成果

### a) 調査と調査地点の概要

三沢海岸に分布する2011年津波堆積物について、津波発生直後（2011年4月）の調査（Nakamura *et al.*, 2012）に加えて、2012年5月の時点での層相、層厚、分布域をあらためて調査した。本報告では、この調査結果にもとづいて津波堆積物の化石化過程初期ステージにおける変化を議論するとともに、2011年津波堆積物が地層として保存される可能性、さらに、堆積物調査にもとづく古津波研究の問題点について議論する。津波堆積物は形成直後から様々な風化作用を受けており、地層中に見いだされる津波堆積物は堆積時とは性質が異なるものである。本稿では、津波堆積物にはたらくこれら一連の変質過程を化石化と呼ぶこととする。

調査期間は、2011年4月10日から5月2日（Nakamura *et al.*, 2012）及びその約1年後の2012年5月7日から14日で、全13測線、146地点で堆積物を観察した。三沢海岸は、海岸線から津波の遡上限界までに、海岸砂丘、古砂丘、防風林、灌木林、農地、集落などがあり、これらの分布と津波遡上経路の関係が確認できるように測線を設定した（図9）。津波堆積物記載・採取地点は2011年の時点でハンディGPS（Garmin社製 etrex LEGEND HCx）で記録し、2012年5月にはGPSのナビゲーション機能を利用して同一地点に再訪した。なお、GPS機器の測地誤差は、水平距離で概ね10m未満である。ただし、一旦掘削した地点は層相・層厚ともに乱されるので、再訪時には前回の調査地点を確認した上でその数cm～

数m離れた地点で記載した。2011年、2012年ともに現地では、津波堆積物の層相・層厚、津波堆積物基底層との関係を記載した。2012年時にはさらに、津波堆積物の擾乱の有無、被覆層の有無、層厚、種類を記載した。

津波堆積物を覆う層は、以下の3種類に分類して記載した。すなわち、U層：腐朽していない植物遺体の層、P層：腐朽しているが植物組織を識別できる堆積腐植層、D層：分解の進んだ堆積腐植層である。この3種は、それぞれ土壌層位命名法におけるO(L)、O(F)、O(H)に相当しており、現地で分類する際には松井(1988)を参考にした。調査結果を示す図9には、以上の3種に加えて、津波堆積物と腐植が混在している(津波堆積物が腐植土中に取り込まれた)層をH層、被覆層が無いかまばらなため地表に露出している津波堆積物をN層として記載した。

#### b) 2011年津波堆積物の1年間の変化

##### i) 層相の変化

津波発生直後(2011年4月)には13測線144地点で津波堆積物の層厚を測定したが、2012年5月に再訪した際には測線2、8、10における砂丘背後の計7地点で、津波堆積物そのものが工事によって人為的に除去されたか、擾乱されていた。そこで、この7地点を除いた137地点について堆積物の層相を観察した。

Nakamura *et al.* (2012)が記載したように、三沢海岸に分布する2011年津波堆積物のうち砂丘背後に位置する比較的厚い堆積物(層厚5~56cm)には、細粒の重鉱物が集積してできた平行ラミナが認められた。津波発生から一年後の2012年5月には、これらの堆積物上には草本植生が繁茂し堆積物中に根が混入していたが、ラミナや級化といった堆積構造は津波発生直後との違いは見られなかった。

##### ii) 土壌による被覆

2011年4月には津波堆積物は地表面に露出していたが、2012年5月現在143地点中107地点は腐朽していない植物遺体層(U層)や腐植層(P層、D層、H層)で覆われる(図10)。データの得られた143地点中、津波堆積物がU層に覆われる地点が59地点、植物組織を識別できる堆積腐植層(P層)に覆われるのが26地点、分解の進んだ堆積腐植層(D層)に覆われるのが7地点であった。U層の厚さはほとんどの地点において1~2cmであったが、森林内では、たとえば測線2の370m~392m地点で5cm、測線5の253m地点で12cmと、厚く堆積していた(図10)。

また、津波堆積物と腐植が混在している(H層)とした15地点では、砂(津波堆積物)は認められるが表土(腐植層)に取り込まれていたり、砂層中に腐植を取り込んでいたりして、土壌との判別ができなかった(図10)。図10でNと表記した36地点では、被覆層が全くないか、まばらであるために、津波堆積物が地表に露出していた。

被覆層の厚い地点はいずれも森林内にある。落ち葉や枯れ枝の供給量が大きい地点でよ

り厚い被覆層が形成されたと考えられる。とくに、植物遺体（落ち葉や枯れ枝）の腐朽や分解が進んでいるのは、森林内部の地点である。いっぽう、海からの風の影響が強く、森林密度の低い海岸部（砂丘背後）では、被覆層が薄く、津波堆積物が地表に露出し続ける傾向にある。

#### iii) 層厚の変化

2011年4月及び2012年5月に測定した津波堆積物の層厚を、図10に示す。全144の調査地点のうち、両時期の層厚データを比較できたのが137地点で、そのうち55地点で層厚が減少、47地点で増加、35地点で変化が見られなかった。

##### ・層厚が減少した地点

1年間で津波堆積物の層厚が減少した地点は随所に見られるが、とくに顕著なのは斜面上部の地点（たとえば測線6の210m地点、測線11の161～185m地点）及び遡上限界に近い地点である。とくに、測線1、5、7、8、9、11、13では、2011年4月に観察できた薄層が完全に消失していた。

##### ・層厚が増加した地点

測線1の291-347m付近、測線5の106m付近、測線9の240-276m付近、測線10の109m付近、測線11の145m付近及び198-210m付近、測線13の44m付近では、2012年5月の層厚が前年のそれを上回る結果となった。

海岸に近い地点や砂丘背後の地点（測線5の106m付近、測線9の109m付近、測線13の44m付近）では、層厚が増加している。しかし、これは1年間の変化というよりも局地的なばらつきを反映すると思われる。これら海岸に近い地点では掘削位置が数十cm移動するだけで、層厚が大きく異なることがある。2012年の調査地点は、前年の掘削による影響を受けない地点でおこなったので、前年よりも堆積物の厚い地点で記載した可能性がある。

#### iv) デブリの変化

2011年4月の時点では、測線1、2、3、4、7、8、9、10、11、13の遡上限界に、落ち葉や木の枝などからなる明瞭なデブリが堆積していた。しかし、2012年5月の時点には、いずれも消失（測線11）していたか、分散して不明瞭（測線13）となっていた。

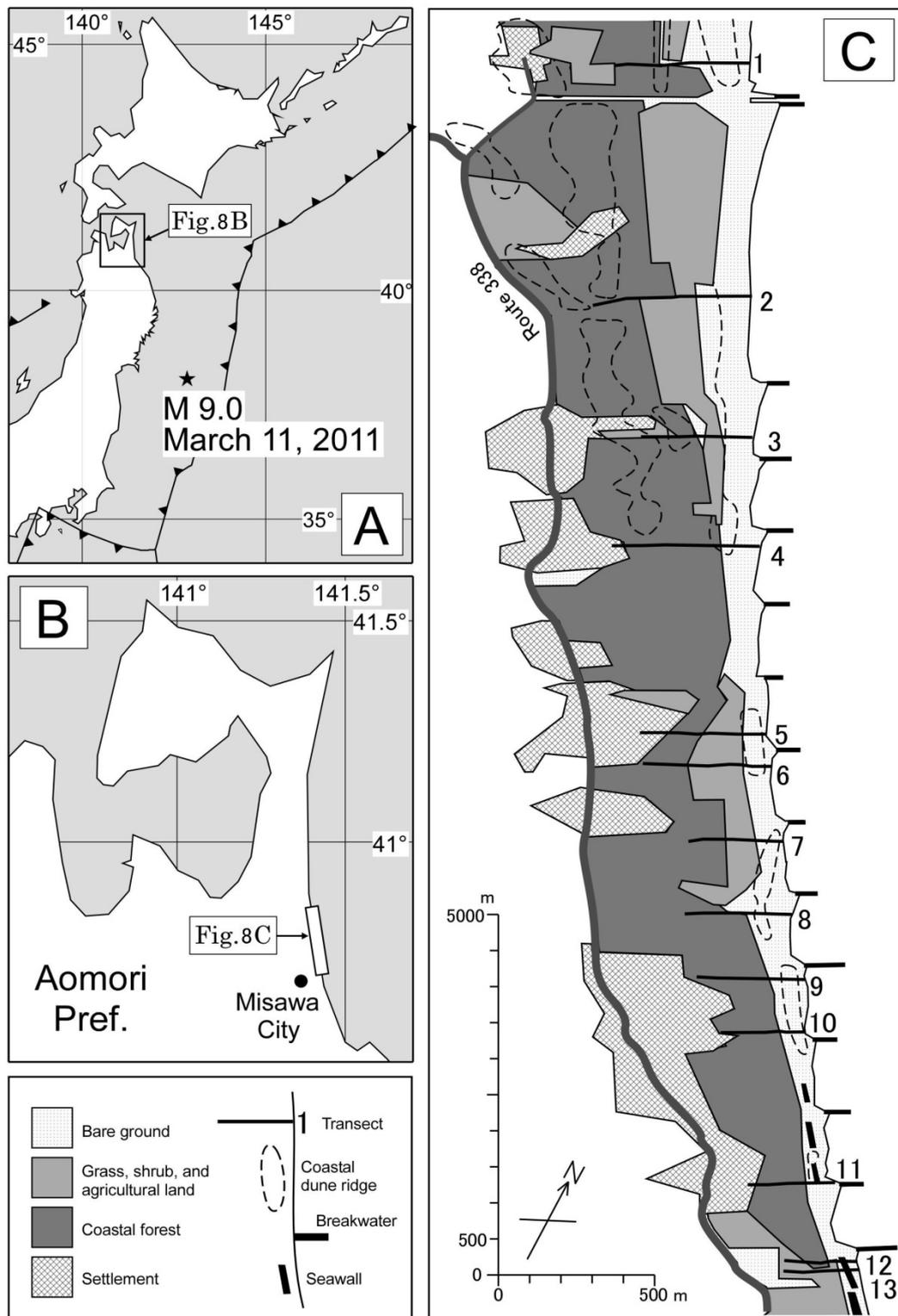


図9 研究対象地域 A：震源との位置関係、B：東北地方北部の拡大図と研究対象地域の位置、C：青森県三沢海岸の土地利用と測線の位置（測線は海岸から遡上限界まで）。2003年10月撮影空中写真（Google Earth）をもとに土地利用を判読し、簡略化して作図した。

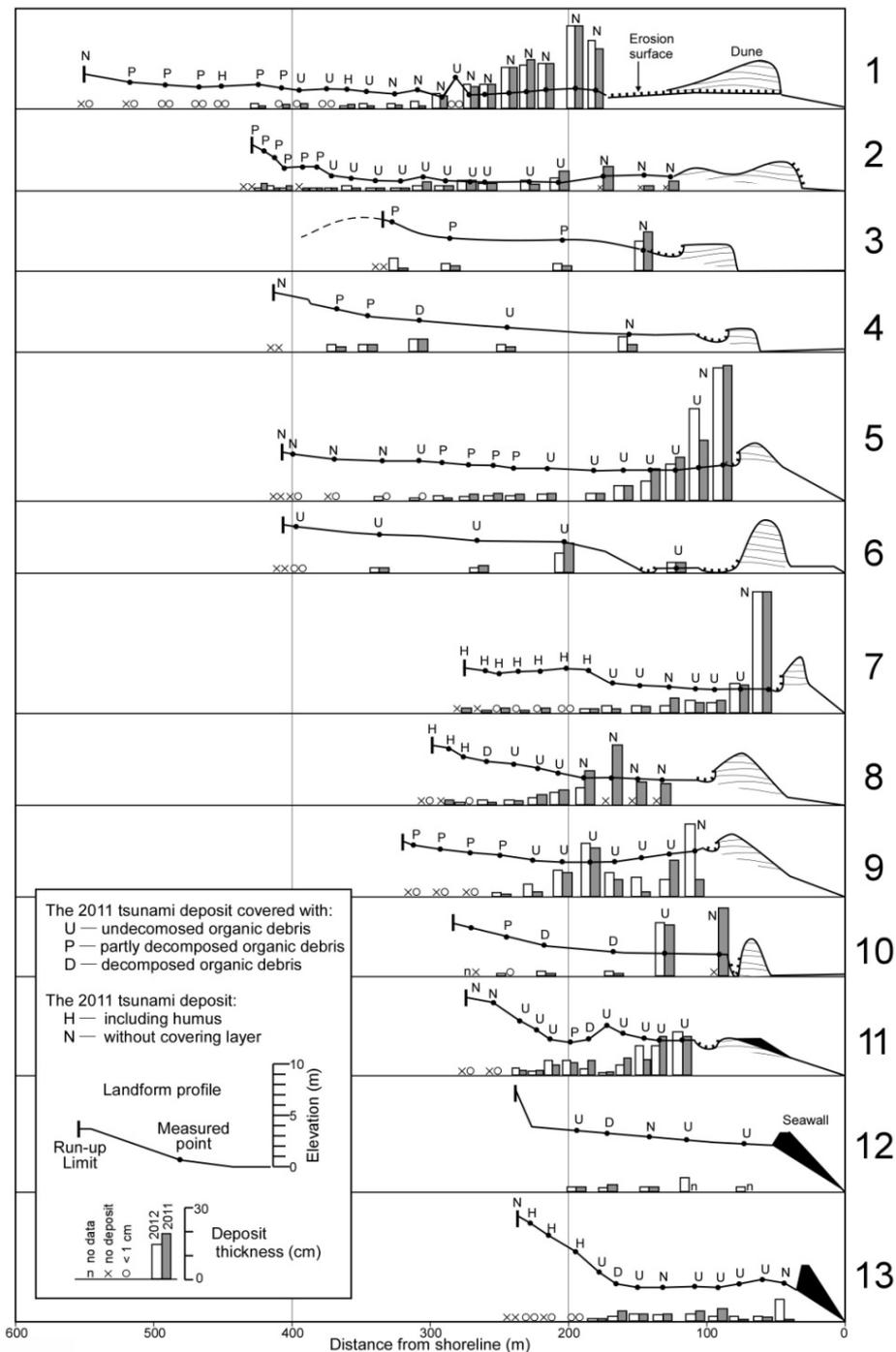


図 10 測線ごとの地形断面及び 2011 年東北地方太平洋沖地震津波堆積物の層厚（2011 年 4 月及び 2012 年 5 月）とそれを覆う被覆層の種類。測線の位置は図 1C 参照。層厚は棒グラフ又は○、×印で示す。被覆層の種類は以下の 4 種：(U) 腐朽していない植物遺体の層、(P) 腐朽しているが植物組織を識別できる堆積腐植層、(D) 分解の進んだ堆積腐植層、(H) 津波堆積物と腐植が混在している層。被覆層が無いかまばらな地点には N と表記。

c) 考察

i) 調査地全域に共通する変化

以上のように、津波発生 1 年後に観察した 2011 年津波堆積物には、

- (1) 砂丘背後の厚い堆積物は、堆積直後の構造を保っている
- (2) 堆積物の層厚を減じた地点が多い
- (3) 遡上限界では堆積物が消失、又は土壌に取り込まれて識別できない
- (4) 森林内では、土壌（腐植土又はリター層）が堆積物を覆う
- (5) 遡上限界のデブリが消失又は分散

といった特徴がある。そこで、青森県三沢海岸に形成された 2011 年津波堆積物の、堆積直後と 1 年後（2012 年 5 月）の概念図を図 9 に示す。

#### ii) 層厚と分布域の変化

以上のように、遡上限界付近や斜面上に堆積した薄い津波堆積物は、堆積後 1 年間で急速に層厚を減じ、堆積物として認識できなくなっている（図 10、11）。その結果、津波堆積物の分布域が減少した。とくに、測線 1 や 9 では、遡上限界から 50m 以上の範囲で堆積物が消失したといえる。他の測線でも、遡上限界にあった層厚数 mm の砂層は失われており、これは浸水域の 10～20% から砂層がなくなったことになる。

反対に、津波堆積物の層厚が増加した地点もある。とくに、測線 9 に顕著で、砂丘背後で 23cm、海岸から 150-230m の位置で 1～6cm の層厚増加があった（図 10）。測線 9 では、海岸から 200m 前後の地点で標高が低くなっており、津波堆積物の再堆積により層厚が増加した可能性がある。そのほか、測線 1 の 291-347m 付近、測線 8 の 240-276m 付近、測線 11 の 145m 付近及び 198-210m 付近でも、一年間で 1～2 cm の層厚増加が見られる。これらの地点は斜面の下部や凹地の内部に位置することから、津波堆積物の再堆積により局地的に層厚が増加したと考えられる。

#### iii) 地層として残るか

2011 年及び 2012 年の調査結果を見ると、砂丘背後に分布する厚い堆積物は、人為的に除去された場合を除いて、ほぼ当初のまま保存されていた。このことから、このような堆積物は今後も長期間残ると思われる。層厚 1 cm に満たない薄い堆積物は上記のとおり既に流出又は土壌化により識別できなくなっている地点があるが、層厚 2 cm を超える堆積物については現時点でも明瞭な砂層として識別できる。また、森林内では、植物遺体層や土壌層が発達し覆うことによって津波堆積物を保護している。これは、津波堆積物の化石化過程における初期ステージから、安定期（ないし遷移期）へと移行したことを示す。このような条件下では、層厚 2 cm を超える堆積物は、地層として保存される可能性が高い。土壌層が津波堆積物を保護することは、タイの事例でも指摘されている。Szczuciński (2012) も、津波堆積物の変質過程には 2 段階あると指摘しており、第 1 段階では堆積物の侵食・再堆積がおき、第 2 段階で堆積物が植生や土壌に覆われることで堆積物を安定化させている。ただし、タイでは層厚 10cm 以下の津波堆積物のほとんどが失われた

(Szczuciński、2012)。それに対し、気候が冷涼で降水量の少ない三沢海岸では、津波堆

積物の保存条件は良好と考えられる。

なお、遡上限界付近に堆積していたデブリは、13 測線すべてで完全に消失したか、きわめて不明瞭な状態であった（図 11）。これは、デブリを形成する物質が植物片を中心とする比較的軽い物質からなるために、雨や風によって流出・拡散したと解釈できる。また、遡上限界が集落内にある測線 4、5、10、11、13 では、デブリが人為的に除去された可能性が高い。

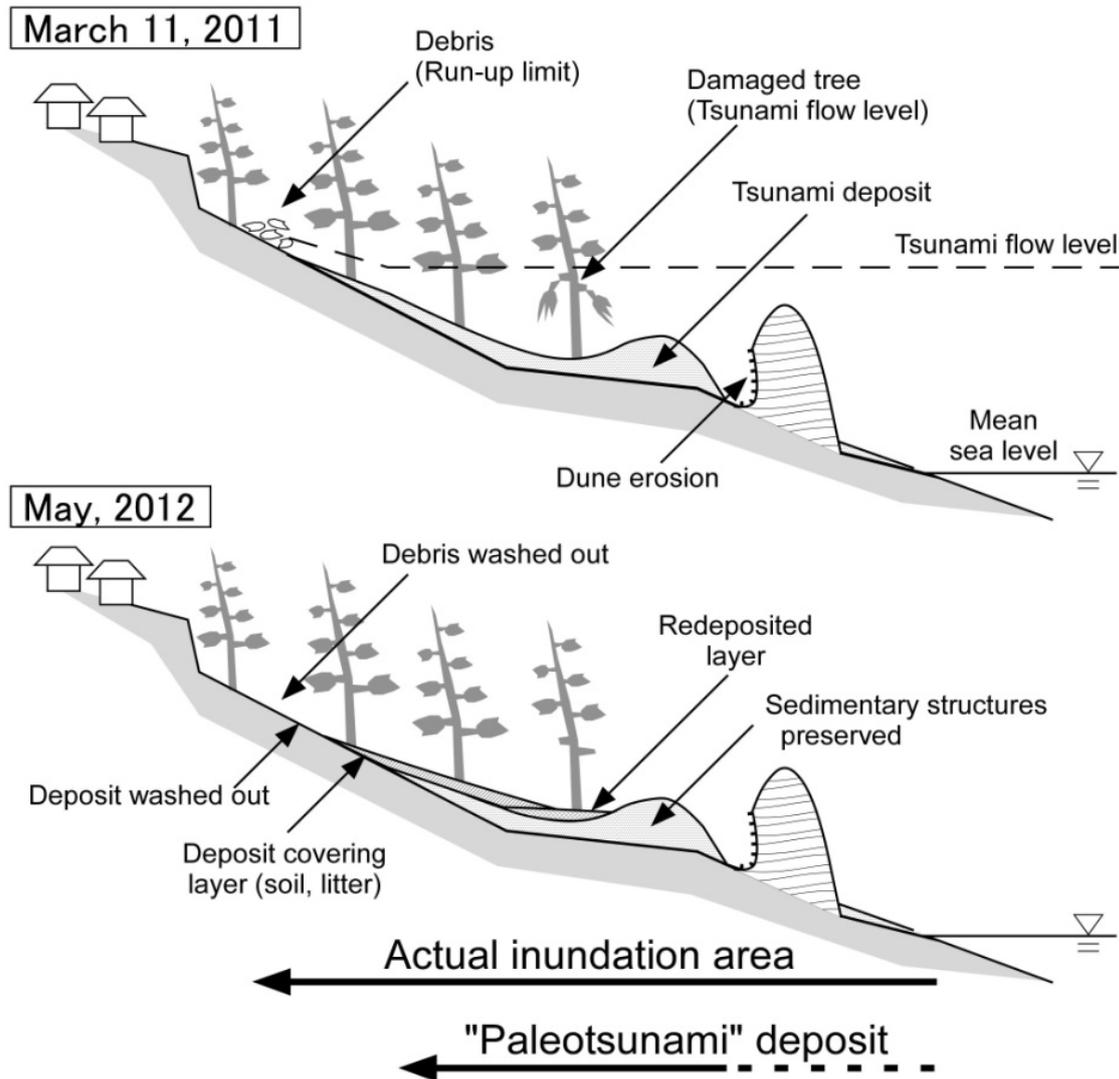


図 11 青森県三沢海岸における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波堆積物の 1 年間の変化（模式図）。

iv) 古津波研究における問題点

本研究で扱ったのは、あくまで津波発生後 1 年間での変化であり、当然のことながら今後も 2011 年津波堆積物は層厚を減少させ、安定期を迎えるまで分布域は縮小するであろう。このことは、津波堆積物にもとづいて古津波の規模・挙動を研究する上で大きな問題

点となる。たとえば、遡上限界付近での土壌化が激しい測線 1 と 9 では、実際の遡上限界の標高（遡上高）はそれぞれ 3.2m と 4.9m (Nakamura *et al.*, 2012) であった。しかし、2012 年 5 月時点で堆積物が認められる限界の標高は 2.1m (測線 1 の 492m 地点) 及び 3.6m (測線 9 の 250m 地点) である。仮に、2012 年 5 月における堆積物の分布にもとづいて津波の遡上高を求めると、実際の遡上高より 1 m 以上過小評価することになる。堆積物の供給量が少ない地域では、津波堆積物の分布域は浸水域よりも狭くなることは Nakamura *et al.* (2012) で既に指摘した。さらに本研究での知見を考慮すると、古津波堆積物の分布域は、実際の津波の浸水域よりもかなり小さいと見るべきであろう (図 11 下)。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

##### 1) 北海道太平洋沿岸での津波堆積物調査による成果

釧路市鶴野では Ta-b と B-Tm の間に 2 層の津波砂層 (TS 1、TS 2) が認められた。TS 1 は、現在の海岸線から少なくとも 2010m の地点まで到達しており、その標高は 5.9m である。TS 2 は、海岸から 1970m、標高 5.8m の地点まで到達している。

釧路、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室に共通して、Ko-c 2・Ta-b と B-Tm の間には 2 層の津波堆積物がある。各調査地域で記載された TS 1、TS 2 は対比される可能性が高く、それぞれ同じイベントに由来する堆積物であろう。

浦幌、音別、根室では B-Tm と Ta-c の間 (1000 年前から 2700 年前の間) に 2 回の大規模津波があったと推定される。釧路地域でこの 2 回のイベント堆積物が見つからなかった理由として、この津波が本調査地 (鶴野泥炭地、海岸から 1400m 以上、標高 5 m 以上) まで到達しなかった可能性と、ジオスライサーによる掘削深度が堆積物の産出層準まで到達しなかった可能性がある。これについては、来年度以降の調査課題である。

##### 2) 青森県三沢海岸における 2011 年津波堆積物の追跡調査の成果

青森県三沢海岸に分布する 2011 年津波堆積物の 1 年間における変化を調査した。その結果、海岸砂丘背後の厚い津波堆積物には層厚・層相に顕著な変化は見られなかったのに対し、遡上限界附近に堆積した比較的薄い砂層は、1 年間で流出したか、土壌に取り込まれて砂層として認められないことわかった。このように、比較的厚い堆積物 (層厚 2 cm 以上) や既に土壌に覆われている堆積物は、地層として今後保存される可能性が高いが、津波発生一年後の堆積物の分布域は、実際の浸水域・堆積域より狭い。よって、古津波堆積物の分布域を津波の浸水域と考えると、津波の規模を過小評価する危険性がある。

##### 3) 今後の課題

平成 24 年度の調査では、北海道及び青森県の太平洋沿岸において津波堆積物 (古津波及び 2011 年堆積物) の層序・層相を解明した。一方で、三陸海岸については未だ予備調査にとどまっており、十分な掘削調査、試料分析が出来なかった。三陸海岸の谷底において 2011 年津

波堆積物の追跡調査をおこなうとともに、古津波堆積物（たとえば貞観津波）の分布、編年学的調査をおこなう必要がある。粒子画像解析装置を用いた分析の有効性は、本年度の釧路において確かめられたので、三陸海岸の津波堆積物についてもこれを活用し、北海道～東北の巨大津波の時空分布解明に役立てていきたい。

(e) 引用文献

- 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英，北海道駒ヶ岳火山は1694年に噴火したか？－北海道における17～18世紀の噴火年代の再検討－．*火山*，**42**，269-279，1997.
- 平川一臣，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**，172-181，2012.
- 平川一臣・中村有吾・原口 強，北海道十勝沿岸地域における巨大津波と再来間隔－テフラと地形による検討・評価－．*月刊地球*，号外，**28**，pp.154-161，2000a.
- 平川一臣・中村有吾・越後智雄，十勝地方太平洋沿岸地域の巨大古津波．*月刊地球*，号外，**31**，pp.92-98，2000b.
- 平川一臣・中村有吾・西村裕一，北海道太平洋沿岸の完新世巨大津波－2003十勝沖地震津波との比較を含めて．*月刊地球*，号外，**49**，pp.173-180，2005.
- Kelsey, H.・佐竹健治・澤井祐紀・Sherrod, B.・下川浩一・宍倉正展，北海道東部における完新世後期の急激な海岸隆起の繰り返し．*活断層・古地震研究報告*，**2**，223-233，2002.
- Ioki, K (2013) Source process of great earthquakes along the Kurile trench estimated from tsunami waveforms and tsunami deposit data, PhD dissertation, Graduate School of Science Hokkaido University.
- 町田 洋・新井房夫，新編火山灰アトラス－日本列島とその周辺．東京大学出版会、p.336，2003.
- 松井 健，土壤地理学序説，316p，築地書館，1988.
- Nakamura, Y., Nishimura, Y., and Putra, P.S. , "Local variation of inundation, sedimentary characteristics, and mineral assemblages of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Misawa coast, Aomori, Japan." *Sedimentary Geology*, **282**, 216-227, 2012.
- 七山 太・佐竹健治・下川浩一・古川竜太・重野聖之，イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域の津波の遡上規模と再来間隔の検討．*地質調査所速報・活断層・古地震研究調査概要報告書*（平成11年度），EQ/00/2，1-17，2000.
- 七山 太・重野聖之・牧野彰人・佐竹健治・古川竜太，イベント堆積物を用いた千島海溝

- 沿岸域における津波の遡上規模の評価--根室長節湖，床潭沼，馬主来沼，キナシベツ湿原及び湧洞沼における研究例--。 *活断層・古地震研究報告*， **1**， 251-272， 産業技術総合研究所地質調査総合センター， 2001.
- 七山 太・重野聖之・三浦健一郎・牧野彰人・古川竜太・佐竹健治・斎藤健一・嵯峨山積・中川 充， イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域における先史～歴史津波の遡上規模の評価--十勝海岸地域の調査結果と根釧海岸地域との広域比較--。 *活断層・古地震研究報告*， **2**， 209-222， 産業技術総合研究所地質調査総合センター， 2002.
- 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， 北海道東部， 十勝海岸南部地域における 17 世紀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， 産業技術総合研究所地質調査総合センター， 2003.
- 七山 太・重野聖之・三浦健一郎・古川竜太， 北海道東部， 根室市別当賀低地において記載された 4 層の津波砂層と広域イベント対比。 *活断層・古地震研究報告*， **4**， 9-15， 産業技術総合研究所地質調査総合センター， 2004.
- Nanayama, F. Furukawa, R., Shigeno, K., Makino, A., Soeda, Y., Igarashi, Y., Nine unusually large tsunami deposits from the past 4000 years at Kiritappu marsh along the southern Kuril Trench. *Sedimentary Geology*, **200**, 275-294, 2007.
- Satake, K., F. Nanayama, and S. Yamaki, Fault models of unusual tsunami in the 17th century along the Kurile trench, *Earth Planets Space*, **60**, 925-935, 2008.
- 添田雄二・七山 太・重野聖之・古川竜太・熊崎農夫博・堤 康夫・車塚 洋・沢井祐紀・佐竹健治・中川 充・山田悟郎・桂川 実・赤松守雄・石井正之（2003）北海道東部， 厚岸町史跡国泰寺跡の泥炭層中において発見された 9 層の津波砂層とその広域イベント対比。 *活断層・古地震研究報告*， **3**， 285-296， 産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- Szczuciński, W., The post-depositional changes of the onshore 2004 tsunami deposits on the Andaman Sea coast of Thailand. *Natural Hazards*, **60**, 115-133, 2012.
- 山田 忍， 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山の火山活動に関する研究。 *地団研専報*， **8**， 40p, 1958.
- 柳井清治・五十嵐八重子， 北海道日高地方海岸段丘地帯における斜面崩壊の発生史とその古環境) *第四紀研究*， **29**， 319-336, 1990.