

教育・普及活動のための津波堆積物のはぎ取り標本

澤井祐紀^{1) 2)}

1. はじめに

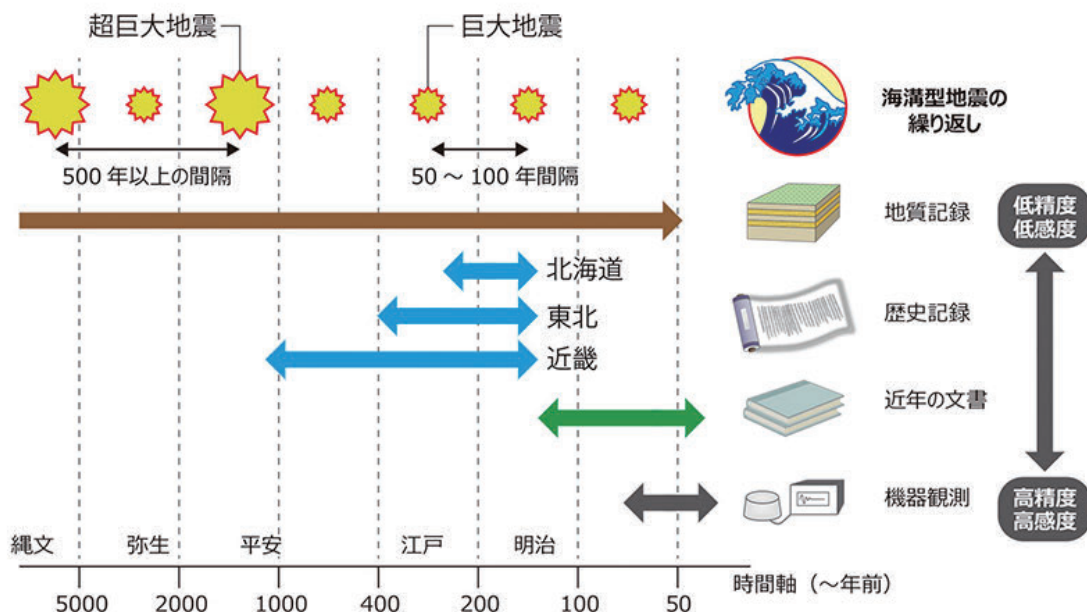
産業技術総合研究所（産総研）では、小中高校生や一般の方々に対して津波堆積物に関する地質調査の理解を深めていただくため、研究の過程で作られた津波堆積物のはぎ取り標本の貸し出しを始めました（産業技術総合研究所，2013）。本稿では、標本作製の対象とした貞観の津波堆積物についての解説や、貞観地震・津波の研究が及ぼした社会的な影響、はぎ取り標本で実際に観察できるものなどについて記します。

2. 地震の予測のために地質学がどのように貢献できるか

2011年東北地方太平洋沖地震が発生する前、巨大地震の長期予測は、主に近年の観測や信頼性の高い歴史記録によって明らかになっている地震の発生履歴（繰り返し間隔）に基づき、発生確率などを求めていました。しかしな

がら、機器観測による記録は、遡ることができてもせいぜい100年程度です。また、歴史記録も、場所によって遡ることができる期間が違いますし、その信頼性にもばらつきがあります。例えば、1600年代以降は、江戸や近畿地方では信頼性の高い記録が多く残されていますが、北海道東部では歴史記録がほとんどないため、この地域に限って言えば先史時代に相当します。

そこで、現在注目を集めているのが、地質記録を利用して過去の地震や津波を復元する研究です。地質記録を用いた研究は、過去数百～数千年以上の時間スケールの現象に適用できるため、機器観測記録（過去100年程度）や歴史記録（最大で1,400年程度）を補うことができます（第1図）。2011年の震災以降、地質記録を利用した貞観地震の研究（後述）が大きく取り上げられています。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」では、今後想定すべき地震・津波について、「これまでの考え方を改め、古文書等の分



第1図 海溝型地震の繰り返しとそれを記録する様々なもの。50年～100年程度の繰り返し間隔であれば機器観測や文字の記録によって明らかにできるが、数百年間隔の超巨大地震は地質記録のみがとらえられる。

1) 産総研 活断層・地震研究センター
2) 産総研 地質標本館

キーワード：津波堆積物，はぎ取り標本，教育・普及活動

析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づき想定地震・津波を設定させ、地震学、地質学、考古学、歴史学等の統合的研究を充実させて検討していくべきである」という趣旨を盛り込んだ提言を2011年9月に公表しました。この提言が公表された後、各自治体が主導で、津波堆積物の調査が行われるようになりました。

3. 西暦869年貞観地震の研究

平安時代に編さんされた「日本三代実録」という歴史書によれば、西暦869年に仙台平野において非常に大きな地震と津波が起きたそうです。この地震と津波は、その当時の元号から「貞観地震」および「貞観津波」と呼ばれています。この貞観地震の存在については古くから知られ、歴史地理学者の吉田東伍氏が1906年にすでに指摘していましたが、その後の研究を通じて、具体的に津波を起こした断層の破壊領域などの実態が不明であることから、地震調査研究推進本部の海溝型地震の長期評価からは外されていました。

貞観津波による津波堆積物は、1990年代に東北大学や東北電力の研究グループによって発見されました（阿部ほ

か、1990；Minoura and Nakaya, 1991）。これらの研究を受け、産総研は、貞観地震に伴った津波による津波堆積物をさらに詳細に調べ、当時のおおよその浸水域を復元しました（例えば、宍倉ほか、2007；澤井ほか、2007、2008；佐竹ほか、2008；行谷、2010）。産総研による研究では津波襲来時の海岸線の位置も考慮しており（澤井ほか、2006）、それによって詳細な浸水域の復元に成功しました。その結果、仙台平野における貞観津波の浸水範囲は、2011年より前に観測されたどの津波よりも大きいものであることが明らかにされました。産総研による貞観津波の研究成果は、2010年に文部科学省に報告されていましたが、それが政府の公式見解として公表される前に心配していたような巨大地震・津波が発生してしまいました（Sawai et al., 2012）。

以上のように、震災前の地質調査によって多くの発見があったにもかかわらず、それを十分に周知させることができませんでした。私たちは、このことを真摯に受け止めて反省し、同じ轍を踏まぬよう、将来にわたり津波堆積物など過去の地震の研究についての重要性を訴え続けていきたいと考えています。しかし、震災の記憶が薄れるに従い、地質学への関心も失われていくかもしれません。そう



第2図 地層抜き取り装置による試料の採取風景（宮城県仙台市にて2013年3月撮影）。

した懸念から、今後の教育・啓発活動に利用し、過去の地震に関する地質記録を用いた研究の重要性を伝えていくために、津波堆積物のはぎ取り標本を作製し、その貸し出しを始めました（産業技術総合研究所，2013）。

4. 試料の採取方法

津波堆積物を採取・観察する方法は、様々なものがあります。例えば、地面にやや広い穴を掘削して、その壁面を観察する方法があります¹⁾。今回の作業では、周辺環境に配慮し、地層抜き取り装置（ジオスライサー；中田・島崎，1997）を使用しました。

ジオスライサーは、コの字状の箱（サンプル箱）と蓋（シャッター）をセットで使用します（第2図①）。まず、サンプル箱を土木作業などで使用される杭打ち機（バイブロハンマー）で地中に押し下げ、その後にシャッターを打ち込みます（第2図②）。これらをクレーンで引き抜くことで、サンプル箱の中に試料が入ります（第2図③、④）。今回は、幅が1 mのサンプル箱を使用して試料を採取しました（写真1）。

5. はぎ取り標本の作製方法

地層に残された構造などを浮き上がらせ、それを詳しく観察する方法として、はぎ取り標本の作製があります。はぎ取り標本は、表面をコーティングすることで長持ちさせることができるため、地層そのものを保存する方法としても知られています（浜崎ほか，2002）。地質調査の過程において、現地だけでなく、後日に研究室などで地層を詳細に観察できるようにするため、露出した地層の表面やボーリングなどで採取した堆積物の表面をはぎ取ることがあります。

地層のはぎ取りには、親水性ウレタン樹脂を使います。粗い砂や石の地層には接着剤が多く染み込んで厚く堆積物が付着しますが、逆に細かい泥質層には接着剤が染みにくいため堆積物が薄くしか付着しません。このコントラストによって、堆積物がたまった過程でできた様々な構造を明瞭に観察することができます。親水性ウレタン樹脂は、トマック NS-10（三恒商事株式会社）やOH-1AX（東邦化学工業株式会社）などがあり、状況によって使い分けます。今回の津波堆積物のはぎ取りには、トマック NS-10 を使用しています。トマック NS-10 を使用したはぎ取り作業の手順は以下の通りです。

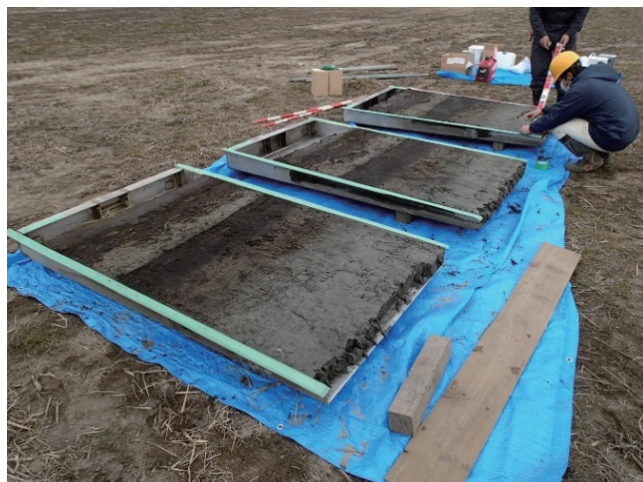


写真1 幅1 m、深さ2 mのジオスライサーによって地層を採取した。



写真2 地質標本館に展示されている津波堆積物のはぎ取り標本（2013年12月撮影）。一番下の砂層には、海側（左）から陸側（右）に向けて傾斜した葉理が見られる。



写真3 貸し出し用のはぎ取り標本。標本を運搬するために専用の木箱も作製した。木箱の中には緩衝材が入っており、運搬時に破損がないよう工夫されている。手前側が地表面に相当。

1. 表面を湿らせて、アセトンを適量混ぜた薬品（トマック NS-10）を塗布
2. 不織布（寒冷紗など）をあてた後さらに薬品を塗布
3. 乾燥させて堆積物が付着した不織布をはぎ取る（乾燥時間は状態によって変わる；3時間～1日）

はぎ取りの手順を書き出してしまうと非常に簡単に見えますが、薬品の毒性など注意すべき点が多いので、経験者と共に作業を行う必要があります。

作製したはぎ取り標本は、そのまま板に張り付けて組み合わせることで、まるで地下の様子をそのまま見ているような展示物を作製することができました（写真2）。この大型のはぎ取り標本は、茨城県つくば市にある産総研の地質標本館で見ることができますが、遠隔地の方々にはなかなか訪れる機会がありません。そこで今回は、教育機関などで使用しやすいように、はぎ取り標本を木枠とアクリル板で保護しました（写真3）。

6. はぎ取り標本で見られるもの

はぎ取り標本では、貞観の津波堆積物を詳しく観察することができます。大きな褶曲構造のない地層の場合、下の方は古いもの、上の方は新しいものからできています。し

たがって、その地層から過去の歴史を読み取ろうとする場合、下から上に向かって解釈します。ここでは、それぞれの地層の解釈を、下から順番に説明します（第3図）。

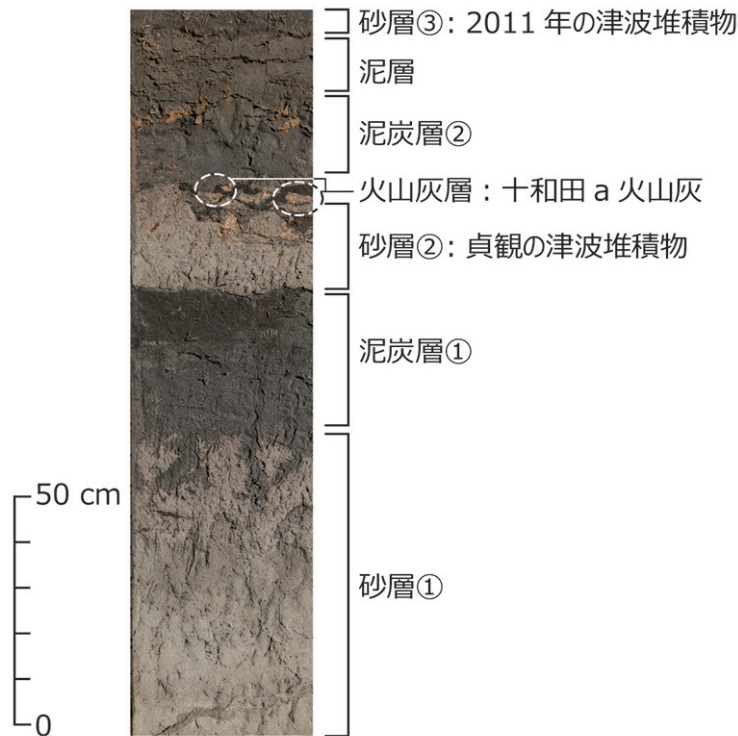
【砂層①】

一番下の地層は、海浜や砂丘の堆積物と考えられています。つまり、この層が堆積した当時、堆積物を採取した地点は海あるいは海に非常に近い場所だったと考えられます。幅の小さな試料では見づらいのですが、幅1 m以上の範囲で観察すると海側から陸側に傾斜した縞のような構造（葉理）が見られます（写真2）。これは、嵐による高波などによって、海側から運搬されてきた地層である可能性を示しています。

【泥炭層①】

泥炭層とは、植物の遺体が十分に分解されずにたまったもので、寒冷地でよく見られる地層です。寒冷地によく見られる理由は、植物を分解する微生物の活動が抑えられるからです。また、沼地でも泥炭層がよく見られます。これは、水に浸った状態だと植物が酸化しにくい（分解しにくい）ので、泥炭層がたまりやすくなるためです。要するに、植物の生産量 > 植物の分解量という関係であれば、泥炭層はどこにでも見られるような地層といえます。

このはぎ取り標本の泥炭層①は、海岸線の移動に伴って、



第3図 津波堆積物のはぎ取り標本と地層の区分。写真は幅40 cmのはぎ取り標本（写真提供：田村 亨氏）。

この場所が陸地になったことによってできた地層です。この泥炭層中には湿地周辺で見られる植物の果実や種子が多く含まれており、当時は湿原が広がっていたと考えられます。

[砂層②：貞観の津波堆積物]

砂層②は、貞観の津波堆積物です。よく観察すると、砂層に含まれている鉱物の組成は、海岸のそれと非常によく似ていることがわかります。幅の小さな試料では見づらいのですが、幅1m以上の範囲で観察すると、縞状の構造（葉理）が見られることがあります。

この砂は、その直下の泥炭層から得られた年代と、その直上の火山灰の年代（西暦915年）から、貞観時代に堆積したものと考えられました。貞観時代において、海の砂が大量に陸地に運ばれるような出来事を考えた場合、歴史書にある貞観地震による津波がそれに相当すると結論づけられました。

[火山灰層：十和田a火山灰, To-a]

オレンジ色の地層は、西暦915年に噴火した十和田火山（青森県、秋田県）から飛んできた火山灰がたまったものです。十和田a火山灰（To-a）と呼ばれ、東北地方の多くの場所において西暦915年を示す地層として知られています。この十和田火山の噴火も、前述の平安時代に編さんされた「日本三代実録」に記載されており、その時期を正確に知ることができます。また、火山灰の化学組成は、それぞれの火山特有の特徴を持っています。この特徴を利用して、火山灰の化学組成を調べて、その給源を推定することができます。ここでは、この火山灰の化学組成と放射性炭素年代測定¹²の結果から、十和田a火山灰ということがわかりました。

はぎ取り標本では、火山灰層がパッチ状に分布している様子が認められます。おそらく、飛来した当時は、厚さ数cmの地層としてしっかりとたまっていたと思われませんが、その後、地層が乱されて、このような形となったと考えられます。

ここで見られる火山灰のように、火山の噴火に伴って噴出したものの総称を「テフラ」といいます。テフラには、軽石、スコリア、火砕流堆積物・火砕サージ堆積物が含まれます。広い範囲に降下したテフラは広域テフラと呼ばれ、大規模な噴火により、日本全国で見ついている火山灰もあります。テフラは短い期間に広い範囲に降下するため、離れた地域での地層の対比や年代の推測に利用されます。

[泥炭層②]

十和田a火山灰がたまった後、当時の環境は再び湿地に戻りました。その結果、この泥炭層②が堆積しました。

[泥層]

ここで見られる泥層は水田の土です。震災が起きる前は、この周辺に美しい水田が広がっていました。

[砂層③：2011年の津波堆積物]

はぎ取り標本の一番上に見られる薄い砂層が、2011年東北地方太平洋沖地震による津波でたまった津波堆積物です。地震が発生してから1ヶ月ほど経過した際、産総研の研究グループは津波堆積物の産状を調べるために現地に向かいました。その時点では、厚さ数cmの砂とその上に乗っている状態の泥（砂層と泥層をあわせて10～15cm程度の厚さ）が見られましたが、このはぎ取り標本作製のために試料を採取した時にはそうしたものは見られませんでした。これは、瓦礫の撤去の際に、表面の泥がいっしょに片付けられてしまったことが主な原因と考えられます。また、津波堆積物の表面が乾燥し、風などで堆積物が移動してしまったことも大きいでしょう。

2011年の堆積物に見られたような、堆積物の二次的な変化は、貞観時代には起きにくかったのではないかと考えています。貞観津波が襲来した当時、この場所は湿地環境でした。そうした場所では、植生や水によって堆積物が保護されて堆積物が残りやすくなるということが、2004年スマトラ沖地震による津波の例などでわかっています。

7. 2011年と貞観の津波を比較できるか？

はぎ取り標本を見ると、貞観の津波堆積物が非常に厚く、2011年の津波堆積物が薄いことが明らかです。2011年の津波堆積物は、先に述べたように、震災後の活動などでその多くが失われてしまいました。しかし、それを考慮したとしても、貞観の津波堆積物のほうがしっかりとした堆積層を形成しています。この違いは、津波の大きさを表しているのでしょうか？

実は、このはぎ取り標本だけでは、どちらの津波が大きかったのかは知ることができません。貞観津波がこの場所を襲った当時、海岸線は現在より内陸に位置していました。そのため、はぎ取り標本作製した試料が採取された地点は、当時の海岸線に非常に近い場所にあり、①津波によって砂が運ばれやすく、②運ばれた砂が溜まりやすく、さらに③それが残されやすい場所だったことがわかっています。つまり、貞観地震が発生した1,100年前と現在とでは、環境が違いすぎて単純な比較ができないのです。

仙台平野に限って言えば、2011年の浸水範囲と、貞観の津波堆積物の分布範囲は、おおよそ一致しています。産総

研や東北大学の研究グループは、仙台平野において多くの堆積物試料を観察し、貞観津波による津波堆積物の分布範囲を調べています(菅原ほか, 2011; Sawai *et al.*, 2012)。この堆積物の分布範囲と2011年の浸水範囲を比較すると、それらはほぼ一致しているように見えます。ただし、津波堆積物から当時の浸水範囲を考える時には注意が必要です。一般的に、津波の(海水の)浸水範囲は、堆積物の分布範囲より広いことが知られています。津波は、砂質の津波堆積物を運べないようなゆっくりとした速度になっても、内陸に向かって徐々に浸水していくためです。

2011年と貞観の地震の規模(マグニチュード³)について、そのどちらが大きいのかは、まだよくわかっていません。海で発生する地震の破壊領域を評価する場合、海溝に沿った非常に広い範囲で調査をする必要があります。2010年までに産総研が行った貞観地震・津波に関する地質調査は、宮城県、福島県、茨城県に限られていました。このうち、茨城県に関しては、貞観時代の堆積物が見つからず、貞観津波の影響があったのかどうかという評価が保留の状態でした。さらに、岩手県や青森県の沿岸では地質調査が行われていなかったため、貞観地震の破壊領域の広がりがどのようになっていたのかを知ることができなかつたのです(Sawai *et al.*, 2012)。現在、産総研では、青森県や茨城県で調査を継続し(例えば、谷川ほか, 2014)、日本海溝全体での巨大地震・津波の履歴を知ろうとしています。

8. おわりに

今回紹介したはぎ取り標本の作製の際には、様々な方にお世話になりました。まず、調査地の地権者さんには、快く地質調査の許可をいただきました。仙台農業協同組合の方には地権者さんや関係各所から許可をいただく際にお世話になりました。復建調査設計株式会社の皆さんには、ジオスライサーの調査を実行していただきました。株式会社トリアド工場の皆さんには、はぎ取り標本の作製をしていただきました。田村 亨博士には、本稿に使用したはぎ取り標本の写真を提供していただくと共に、テキストに対してコメントをいただきました。穴倉正展博士、藤原 治博士、行谷佑一博士、松本 弾博士、谷川晃一郎博士には投稿前の原稿に対してコメントをいただきました。以上の方々に記してお礼を申し上げます。

*1

野外で地層を観察するためにやや広く掘削する穴のことを、ピットやトレンチと呼びます。ピット(pit)とは穴を、トレンチ(trench)とは溝を意味する言葉で、浅い(深さ1~2m程度)ものをピット、そのピットを拡大して溝状に細長く掘ったものをトレンチと言います。ボーリングよりも広い範囲で地層の状態を観察できるため、地層がたまった時の状況など推定するのに適しています。トレンチの掘削による調査は、津波堆積物だけでなく、内陸の活断層を調査する際によく行われます。

*2

放射性炭素14原子(14C)が約5,730年で半減する性質を利用し、堆積物の年代を推定する方法です。大気中には一定量の14Cが含まれており、生物が体内に取り込んだ14Cは、大気と同じ割合に維持されています。しかし生物が死ぬと、14Cが取り込まれなくなるため、その時点で体内にあった14Cは時間の経過とともに放射性崩壊によって徐々に減っていきます。この減少率を利用し、測定物(例えば、炭素を多く含む植物の化石など)に含まれる14Cの割合から、その地層の堆積した時期を知ることができます。この方法は半減期の長さから、約6万年前から約400年前までの年代測定に有効とされています。

*3

地震の規模を表す指標は、エネルギー量を示すマグニチュードを用います。マグニチュードは「M」と標記され、値が1大きくなるとエネルギーは約31.6倍になり、2大きくなると1000倍となります。Mの算定方法には幾つかあります。例えば、地震学ではモーメントマグニチュード(M_w)が用いられることが多いのですが、気象庁は気象庁マグニチュード(M_j)を用いています。同じ地震のマグニチュードでも、複数の異なる値が発表されることがありますが、これは、最新の知識をもってしても大きな地震の規模を評価することが非常に難しいということを意味しています。

文 献

- 阿部 壽・菅野喜貞・千釜 章(1990) 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2輯, 43, 513-525。
- 浜崎忠雄・三土正則・小原 洋・中井 信(2002) 土壌モノリスの作成法改訂版。農業環境インベントリーセンター 土壌分類研究室資料, <http://soilgc.job.affrc.go.jp/Document/method.pdf> (2013/11/14 確認)
- Minoura, K. and Nakaya, S. (1991) Tranches of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan. *Journal of Geology*, 99, 265-287.
- 中田 高・島崎邦彦(1997) 活断層研究のための地層抜き取り装置(Geo-slicer)。地学雑誌, 106, 59-69。
- 行谷佑一・佐竹健治・山木 滋(2010) 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, no. 10, 1-21。
- 産業技術総合研究所(2013) 内陸活断層と巨大津波の痕跡を“剥ぎ取る”-地質標本館で実物標本の観察が可能に-, http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130708/pr20130708.html (2013/11/14 確認)

- 佐竹健治・行谷佑一・山木 滋 (2008) 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, no. 8, 71-89.
- 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ー 1611 年慶長津波と 869 年貞観津波の浸水域ー. 地質ニュース, no. 624, 36-41.
- 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 (2007) 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, no. 7, 47-80.
- 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子 (2008) 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, no. 8, 17-70.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K. and Shishikura, M. (2012) Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters*, **39**, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.
- 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 (2007) 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, no. 7, 31-46.
- 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦孝治 (2011) 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*, **29**, 501-516.
- 谷川晃一郎・澤井祐紀・宍倉正展・藤原 治・行谷佑一 (2014) 青森県三沢市で検出されたイベント堆積物. *第四紀研究*, **53**, 55-62.
-
- Yuki Sawai (2014) Peel of the tsunami deposit for education and dissemination.
-

(受付:2013年11月18日)