

海溝型地震履歴解明の研究

Study of subduction zone paleoearthquakes

藤原 治¹・澤井祐紀¹・藤野滋弘¹・行谷佑一¹・岡村行信¹
Osamu Fujiwara¹, Yuki Sawai¹, Shigehiro Fujino¹, Yuichi Namegaya¹
and Yukinobu Okamura¹

Abstract: There are many topographic or geologic records of offshore great earthquakes along the coastal area, thus we will be able to reveal the history of ancient great earthquakes from topographic and geologic investigations in coastal area. In Hokkaido, age of sediments collected from marsh sediments in Akkeshi area was determined to be ranging from 3,000 years ago to recent and we will continue to analyze the sediments to clarify crustal movements related to great earthquakes. In NE Japan coast, three tsunami deposits during the last 3,000 years were obtained from coastal plain of Joban area. In Tateyama plain of Boso Peninsula, two sandy layers that are inferred to be tsunami deposits around AD 1,000 and 1,300 were obtained. To reproduce ancient tsunami invasion into the onshore coastal plane, digital elevation data were build by removal of recent constructions (harbors, sea walls and others) from recent digital elevation data of the Joban and Boso coasts. In SE Japan, crustal movements and tsunami deposits were investigated around Lake Hamana and Shima Peninsula. The survey around Lake Hamana suggests that the area was subsided after the 14th century, which is inferred to be crustal movement related to one of ancient subduction zone earthquakes along the Nankai Trough. The 10 m sediment cores were obtained in the Shima Peninsula, and 8 tsunami deposits were found in the sediments during the period from 500 to 4000 years ago. In 2009, giant earthquake occurred and caused tsunami which destructed Samoa Island, south Pacific. We joined the tsunami survey team from Japan and found that the height ranges from 2 to 16 m in Tutuila Island, and it was higher in the western part of the island.

1. はじめに

沈み込み帯に面する日本列島は、海溝型地震とそれによる津波によってしばしば大きな被害を受けてきた。それらの地震は発生間隔が 100 年前後のものが多く、歴史記録に基づいて発生履歴がおおよそ明らかになっている。しかしながら、海岸付近の地形及び地質の調査から、歴史記録に残されていない巨大な津波がまれに発生していることが明らかになってきた。そのような地震と津波の履歴を解明するために、北海道から西南日本までの太平洋沿岸域で調査を実施した(図 1)。また、2009 年 9 月に発生したサモア諸島沖地震に伴う津波の現地調査も実施した。

2. 北海道

2.1 目的と背景

近年における機器観測や古地震学的研究の成果により、千島海溝南部における海溝型地震の多様性が明らか

かにされてきた。千島海溝南部では、十勝沖で 1843 年、1952 年、2003 年に、根室沖で 1894 年と 1973 年に M8 クラスの巨大地震が発生している。これらの地震に関しては、当時の検潮記録に基づく津波波形の検討が行われており、それぞれの震源域が異なっていたことが明らかになっている。こうした 19-21 世紀の海溝型地震だけで見ても千島海溝南部における海溝型地震は多様であることが分かるが、最近 10 年間に行われた古地震学的研究は、千島海溝南部で 17 世紀に発生した連動型地震の存在を明らかにしている。北海道の湿原堆積物中に残された津波堆積物を詳細に検討した Sawai et al. (2009) によれば、過去 5,500 年間に 15 回の巨大津波が浜中町霧多布湿原を浸水しており、それらの多くは 17 世紀に発生したような連動型地震によるものと考えられている。一方、同地域の相対的海水準変動を復元した Sawai et al. (2004) によれば、17 世紀の連動型地震と同時期に海岸が大きく隆起している。また、厚岸町と根室市の湿原で

¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center)

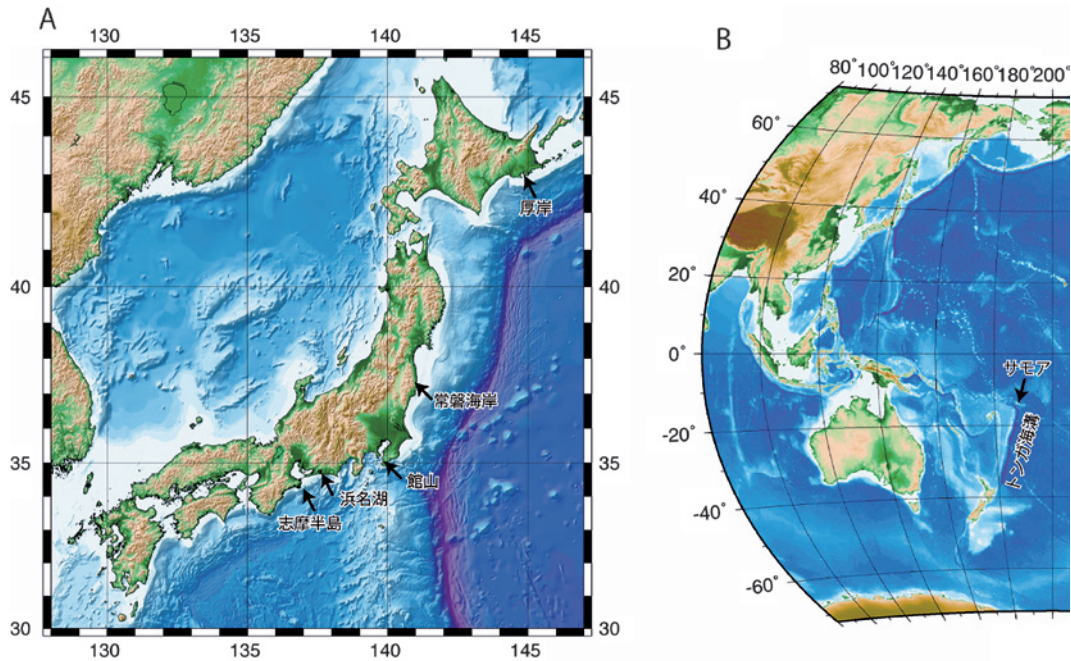


図 1 調査地域. A: 日本国内, B: 西太平洋.

は、17 世紀以前に海岸湿原の離水が確認されている (Sawai, 2001; Sawai et al., 2002). こうした津波堆積物と離水イベントの繰り返しから、千島海溝南部では、17 世紀に発生したような連動型地震のたびに大きな海岸の隆起が発生していたと推定されている。

2.2 調査内容

過去において地震に関係した海岸の隆起が繰り返しているのかを検証するため、昨年度は、北海道東部の厚岸湿原において相対的海水準変動の復元を行うための地質調査が行われた。本年度は、昨年度に得られた泥炭層から種子や果実などの大型植物化石を拾い出し、合計 30 件の放射性炭素年代測定を行った。その結果、厚岸地域の湿原堆積物は過去 3000 年間の環境変化を連続的に記録していることが明らかになった。また、泥炭層に挟まれる海成層の平面的な広がりや年代の対比により確認することができた。来年度以降は、堆積曲線を描いた地点において微化石分析を行い、相対的海水準変動の復元を連続的・定量的に行っていく予定である。

3. 常磐海岸

3.1 目的と背景

宮城県南部の仙台平野から福島県の常磐海岸にかけては、三陸海岸に比べて津波による被害が少ないと考えられている。例えば、1933 年 3 月 3 日の昭

和三陸津波の際には、岩手県大船渡市で 28m 超の津波が観測されたのに対して、仙台平野では山元町磯地域での 3.9m が最大だった (東京大学地震研究所, 1934)。また、1896 年明治三陸津波の際も、大船渡市で 38.2m (一説には 50m 以上) の津波が観測されたのに対し、仙台平野では 5m 以下であった (羽鳥, 1995)。このような近年の観測結果に対して、歴史記録には巨大な津波が仙台平野を襲ったという記述がある。平安時代に編纂された日本三代実録には、貞観十一年五月二十六日 (西暦 (ユリウス暦) 869 年 7 月 9 日) に関して以下のような記録がある。「陸奥国地大震動。流光如晝隠映。(中略) 去海数千百里。浩々不辨其涯俟矣。原野道路。惣為滄溟。乗船不惶。登山難及。溺死者千許。資産苗稼。殆無子遺焉」これは、陸奥の国において大地震が発生し、その後の津波によって 1000 名以上の溺死者がでたことを示している。この被災した陸奥国の国府は、現在の岩沼市あるいは多賀城市にあったとされているが、いずれにせよ仙台平野が地震動および津波による浸水被害を受けたことは間違いない。この地震に関係していると思われる伝承の記録は、茨城県、福島県、宮城県沿岸部に広く残されている (渡邊, 2000, 2001 など) が、津波 (貞観津波) の実体はよくわかっていない。

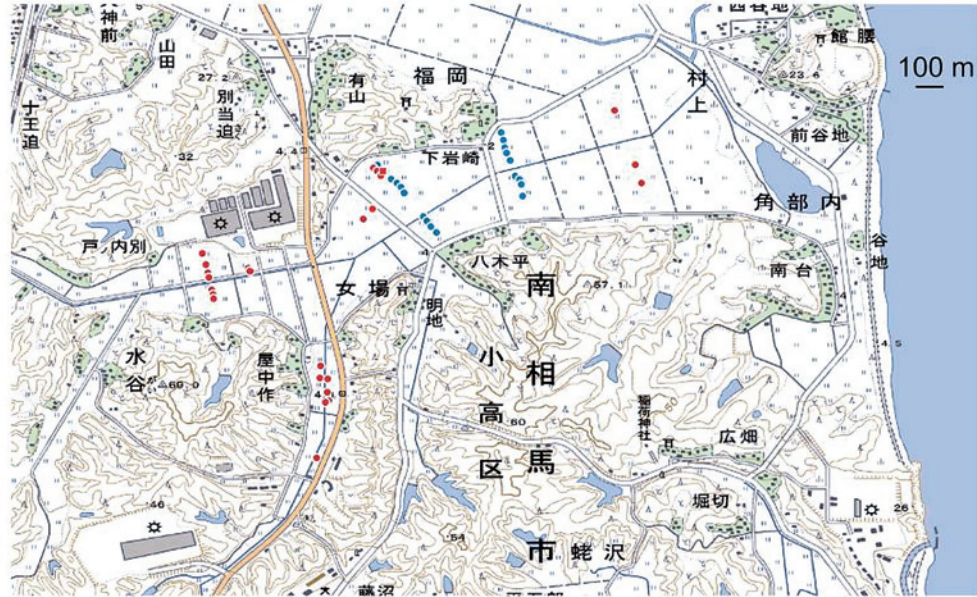
3.2 調査内容と結果

貞観津波を含めた巨大津波の浸水履歴を明らかにす

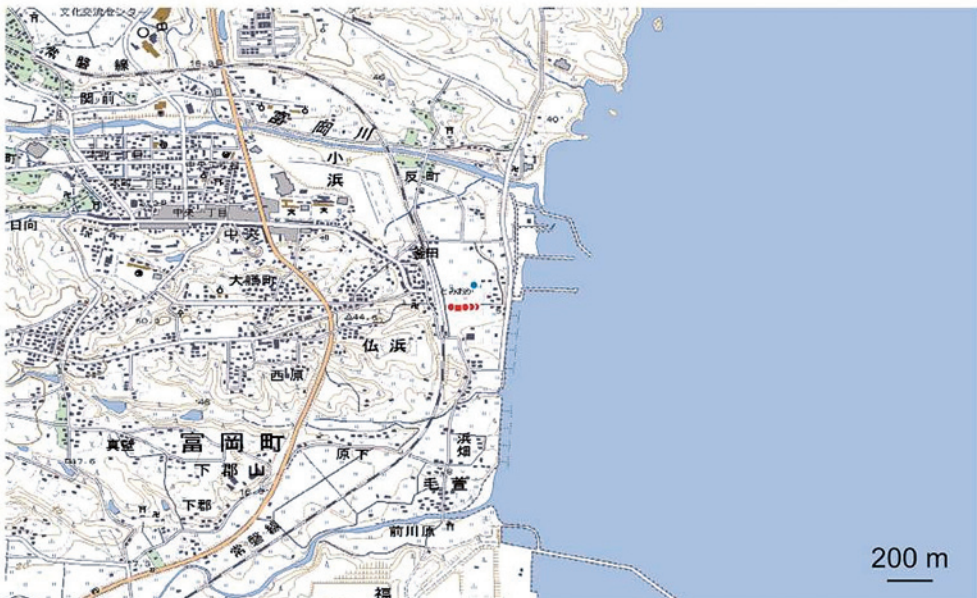
るため、福島県南相馬市小高区および福島県双葉郡富岡町において大型ジオスライサーを用いた掘削調査を行った(図2)。南相馬市小高区では、深さ3.2mまでの連続堆積物試料を採取した(図3)。掘削の結果、深さ0-45cmは現在の耕作土あるいは土地改良する直前の表層土からなることが確認された。深さ45-50cm、深さ60-70cm、深さ80-90cmには泥炭層あ

るいは有機質に富む黒色砂層が見られた。これらの有機質層に挟在する砂層(深さ50-60cm、深さ70-80cm)は石英あるいは長石に富み、多重級化構造を持つことが分かった。また、深さ50-60cmの砂層には有機質泥からなる偽礫が多く観察され、深さ70-80cmには明瞭な平行葉理が認められた。深さ90-120cmには泥質砂層が分布し、この砂層の最下部で

南相馬市小高区



富岡町



- 平成21年度の掘削地点(ハンディジオスライサー, ハンドコアラ)
- 平成21年度の掘削地点(大型ジオスライサー)
- 平成20年度の掘削地点

図2 南相馬市小高区および双葉郡富岡町における掘削調査地点。

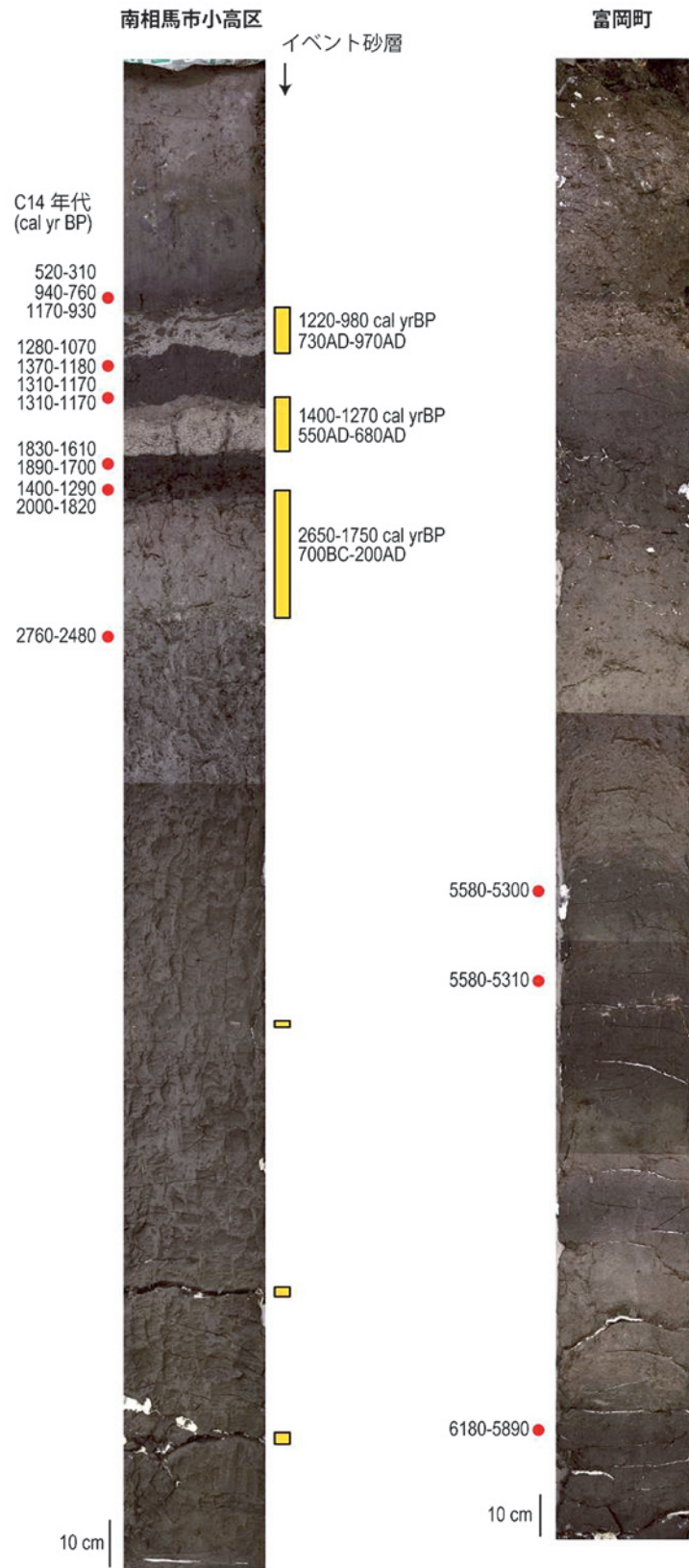


図 3 南相馬市および富岡町で採取した大型ジオスライサー試料。写真左側の赤丸は放射性炭素年代を測定した層準を示す。写真右側の数字は、OxCal によって推定された砂層の堆積年代。

は細粒～中粒の石英質砂に変化するものが確認された。深さ 120-320cm は無機質泥層が分布するが、この泥層中にも砂層（深さ 200cm, 深さ 256-258cm, 深さ 290-293cm）が挟在するのが認められた。これらの砂層の堆積年代を推定するため、砂層の上下の地層から大型植物化石（種子、果実、小枝、葉など）を拾い出し、放射性炭素年代測定を行った。放射性炭素年代測定結果を踏まえ、コンピュータプログラム OxCal version 3.10 を用いてベイズ統計理論に基づく砂層の堆積年代を推定したところ、上位からそれぞれ 1220-980cal yr BP, 1400-1270cal yr BP, 2650-1750cal yr BP という結果を得た。この結果は、本地域で認められた砂層のうち最上位のものが貞観津波に伴った津波堆積物であることを示唆している。双葉郡富岡町では、深さ 3.5m までの連続堆積物試料を採取した。掘削の結果、深さ 0-75cm は、土地改良時の盛土が分布することが確認された。深さ 75cm 以深は基本的に砂質層からなるが、深さ 75-100cm, 深さ 190-200cm, 深さ 215-245cm, 深さ 265-275cm, 深さ 320-350cm では有機質に富むシルト質砂層になることが認められた。深さ 195cm 付近と深さ 220cm から採取された炭素片の放射性炭素年代を測定した結果、それぞれ 5580-5300cal yr BP, 5580-5310cal yr BP という値を示した。深さ 225cm に明瞭なパミス質の火山灰が確認されたが、化学組成分析の結果から沼沢一沼沢湖テフラ (Nm-NM) と推定された。Nm-NM は約 5000 年前に降下したとされていることから、炭素片から得られた放射性年代と大きく矛盾しない。富岡町においても、大型ジオスライサーで確認した砂層の分布を明らかにするため、ハンドコアラーを用いた掘削調査を行った。本年度は、ハンドコアラーおよびハンディジオスライサーで得られた試料の年代測定を行えなかったため、津波起源と考えられる砂層の平面的な広がりを精度よく追うことができなかった。今後は、年代測定件数をさらに増やして砂層の分布を把握する予定である。

4. 常磐海岸における過去の地形の復元

4.1 目的と背景

869 年貞観地震津波の断層モデルを検討するために、断層モデルをいくつか仮定して宮城県石巻平野および仙台平野において津波の浸水計算が行われた（佐竹他, 2008）。計算された浸水域と、これまでに明らかにされた貞観津波の堆積物の分布（穴倉他,

2007; 澤井・他, 2007; 2008 など）とを比較し、後者を良く再現する断層モデルを貞観地震の妥当な断層モデルとした。これによれば、正断層型地震（昭和三陸地震の断層モデルを仙台沖に設定）や、津波地震（明治三陸地震の断層モデルを仙台沖に設定）、および仙台湾内の活断層の断層モデルでは、仙台平野や石巻平野に残る貞観津波の堆積物の位置まで津波が浸水せず、断層モデルとして妥当ではないことが報告されている。一方、プレート境界型の地震については、モデル 8（上端の深さ約 31km; 断層の長さ 100km; 幅 100km; すべり量 10m; Mw8.3）と、モデル 10（上端の深さ約 15km; 断層の長さ 200km; 幅 100km; すべり量 7m; Mw8.4）の場合に、同平野に残る津波堆積物の位置まで津波が浸水することが示された。モデル 10 による震源域の南端は、モデル 8 のものよりも南方に位置する。震源域の南端がどこまで達するかは仙台平野や石巻平野における津波シミュレーションでは拘束できなかった。

最近、産業技術総合研究所や東北大学により福島県沿岸における津波堆積物の調査が行われている。この領域における津波堆積物の有無は、上記の震源域の南端がどこまで達するかという問題に対して拘束条件となる可能性がある。そこで、今後これらの地域で詳細な津波計算を行うために、福島県沿岸部における詳細な地形データを、できるだけ当時の地形を再現するように作成した。

4.2 業務の内容

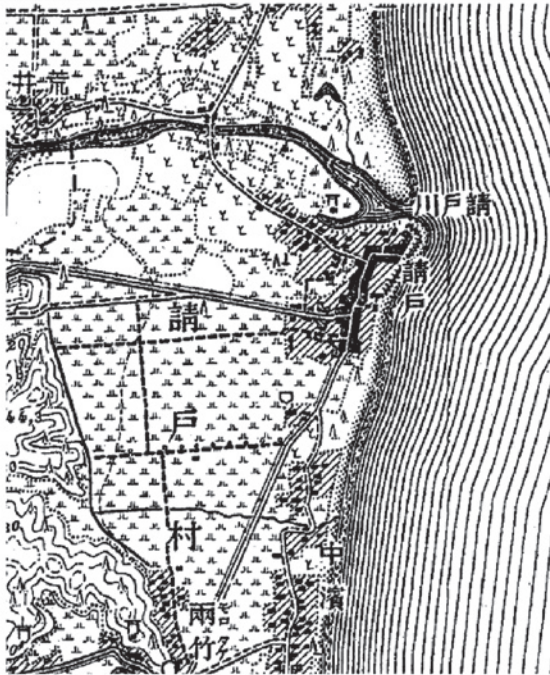
福島県沿岸部について、25m 間隔のグリッド化された地形データ（水深データおよび陸上標高データ）を作成した。まず水深データの作成には、日本水路協会発行の「海底地形デジタルデータ (M7004 および M7005)」および「日本全域海岸線データ」を用いた。ただし、「海底地形デジタルデータ」外の海域においては同協会発行の「日本近海 30 秒グリッド水深データ (JTOPO30)」を用いた。陸上領域については、海岸線から内陸に 1km の範囲は国土地理院が提供する「海岸における 3D 電子地図」を用い、それより内陸部は福島県が所有するレーザープロファイルデータを用いた。ただし、さらなる内陸部など、いずれのデータも存在しない地域については、国土地理院が発行する「数値地図 50m メッシュ (標高)」を用いた。

つぎに、海岸線の位置を地震当時の海岸線に近くするために、人工改変前の位置に戻す作業（防波堤や埋

め立て地を海化するなど)を行った。この過去の海岸線の推定には、国土地理院の旧版地形図ならびに戦後に撮影された米軍航空写真を参考にして人工改変前の地形を復元した(図4)。この結果を図5および図6に示す。防波堤や埋め立て地などの人工物が取り除か

れている。今後、ここで得られた地形データを用いて津波のシミュレーションを行うことで、より信頼性の高い貞観地震の断層モデルを推定する予定である。

(a) 旧版地形図



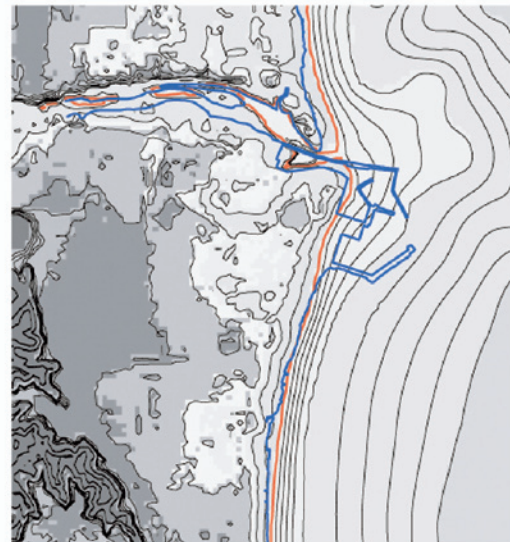
(b) 米軍航空写真



(c) 現在の地形図



(d) 人工物を取り除いた推定海岸線



— 現在の海岸線
— 人工物を取り除いた海岸線

図4 現在の海岸線から人工物を取り除くときに参考にした資料(福島県双葉郡浪江町請戸の例)。(a)国土地理院発行の旧版地形図(b)国土地理院提供の航空写真(c)国土地理院発行の現在の地形図(d)人工物を取り除いた海岸線と現在の海岸線との比較。

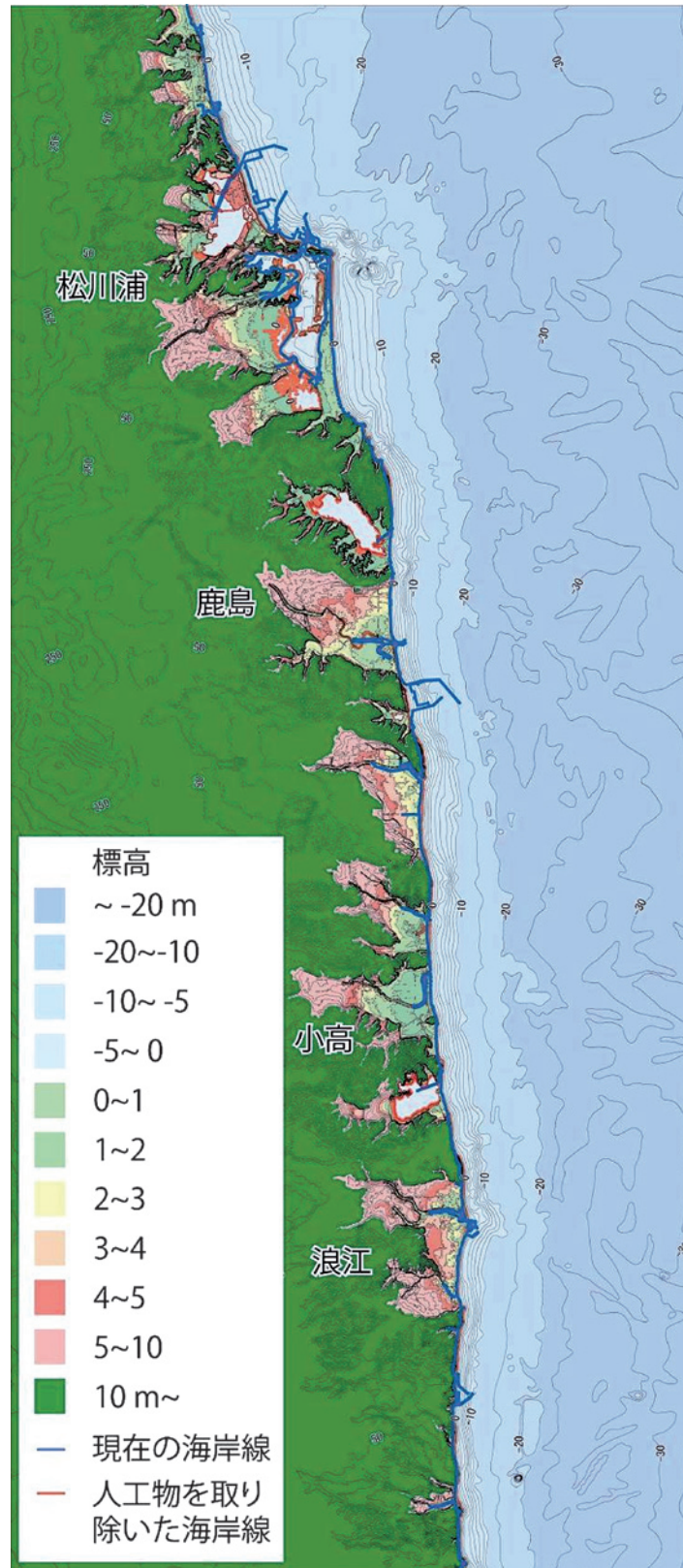


図5 本業務で得られた詳細な地形データ（福島県相馬郡新地町～双葉郡大熊町）.



図6 本業務で得られた詳細な地形データ(福島県双葉郡富岡町～いわき市).

5. 房総半島における過去の地形の復元

5.1 目的と背景

1703年元禄地震はフィリピン海プレートと北米プレートの境界部で発生した地震であり、海岸の隆起・沈降分布、あるいは津波高さ分布などに基づいて、いくつかの断層モデルが提案されている。これらのモデルは大きく分けて2つのタイプに分類することができる。すなわち、一つは Matsuda et al. (1978) に代

表されるように房総半島南東方沖合まで破壊域が延びたとするモデルと、もう一つは笠原他(1973)に代表されるように破壊域は房総半島南部にとどまり、沖合へは破壊が達しなかったとするモデルである。房総半島南東方沖合まで破壊が進んだか否かを知ることは、長期的な地震の発生メカニズムをとらえる上で重要である。

本業務ではこれまでに、反射法地震探査から明らかになったフィリピン海プレートの上面形状(Sato et

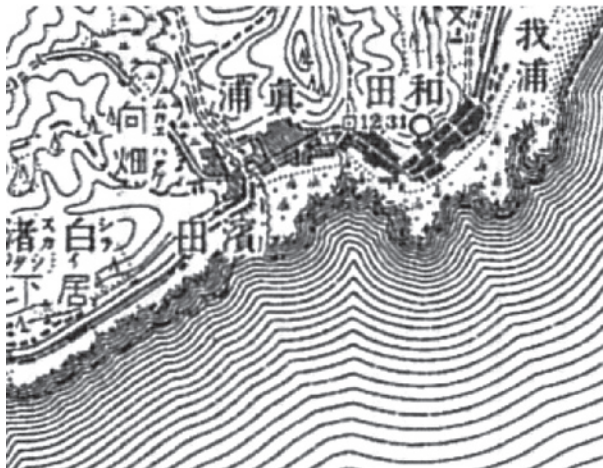
al., 2005 ; 武田他, 2007 ; Tsumura et al., 2009) に沿って相模湾周辺, 房総半島周辺, および房総半島南東方沖に小断層を設置し, 地形・地質学的に判明した沿岸部の隆起・沈降量や歴史記録による津波高さおよび浸水域などの情報を用いて同地震の断層モデルを推定してきた。この結果, 房総半島南東方沖合まで破壊域が達すると, 津波供養碑の位置から推定される九十九里浜の津波浸水域を再現することがわかった。ただし, 九十九里浜以外にも津波のデータは存在し, たとえば同じ房総半島内では上総湊や保田, 岩井, 館山, 千倉, 鴨川, および御宿などでも津波の高さが判明している(羽鳥 1976)。これまで検討してきた元禄地震の断層モデルの信頼性をより上げるためには, これらの九十九里浜以外における津波高さの再現性についても議論する必要がある。そこで, 今後これらの

地域で詳細な津波計算を行うために, 千葉県富津市, 鋸南町, 南房総市, 館山市, 鴨川市, 勝浦市, 御宿町, いすみ市, および一宮町含む領域における詳細な地形データを, できるだけ当時の地形を再現するように作成した。

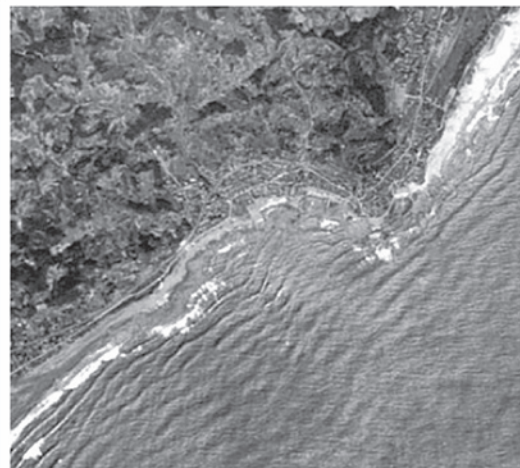
5.2 業務の内容

房総半島南部を含む, 北緯 $35^{\circ} 21'$ 東経 $139^{\circ} 43'$ ~ 北緯 $34^{\circ} 50'$ 東経 $140^{\circ} 28'$ の矩形領域内について, 25 m 間隔のグリッド化された地形データ(水深データおよび陸上標高データ)を作成した。まず水深データの作成には, 日本水路協会発行の「海底地形デジタルデータ(M7001)」および「日本全域海岸線データ」を用いた。ただし, 「M7001」外の海域においては同協会発行の「日本近海 30 秒グリッド水深データ

(a) 旧版地形図



(b) 米軍航空写真



(c) 現在の地形図



(d) 人工物を取り除いた推定海岸線

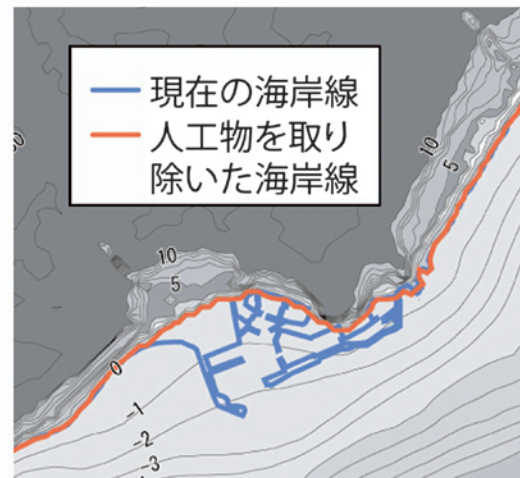


図7 現在の海岸線から人工物を取り除くときに参考にした資料(千葉県南房総市和田の例)。(a) 国土地理院発行の旧版地形図 (b) 国土地理院提供の航空写真 (c) 国土地理院発行の現在の地形図 (d) 人工物を取り除いた海岸線と現在の海岸線との比較。

(JTOPO30)」を用いた。陸上領域については、海岸線から内陸に 1km の範囲は国土地理院が提供する「海岸線における 3D 電子地図」を用い、それより内陸部は千葉県が所有するレーザープロファイルデータを用いた。ただし、さらなる内陸部など、いずれのデータも存在しない地域については、国土地理院が発行する「数値地図 50m メッシュ (標高)」を用いた。

つぎに、海岸線の位置を地震当時の海岸線に近くするために、人工改変前の位置に戻す作業 (防波堤や埋

め立て地を海化するなど) を行った。この過去の海岸線の推定には、国土地理院の旧版地形図ならびに戦後に撮影された米軍航空写真を参考にして人工改変前の地形を復元した (図 7)。この結果を図 8 および図 9 に示す。防波堤や埋め立て地などの人工物が取り除かれている。今後、ここで得られた地形データを用いて津波のシミュレーションを行うことで、より信頼性の高い元禄地震の断層モデルを推定する予定である。

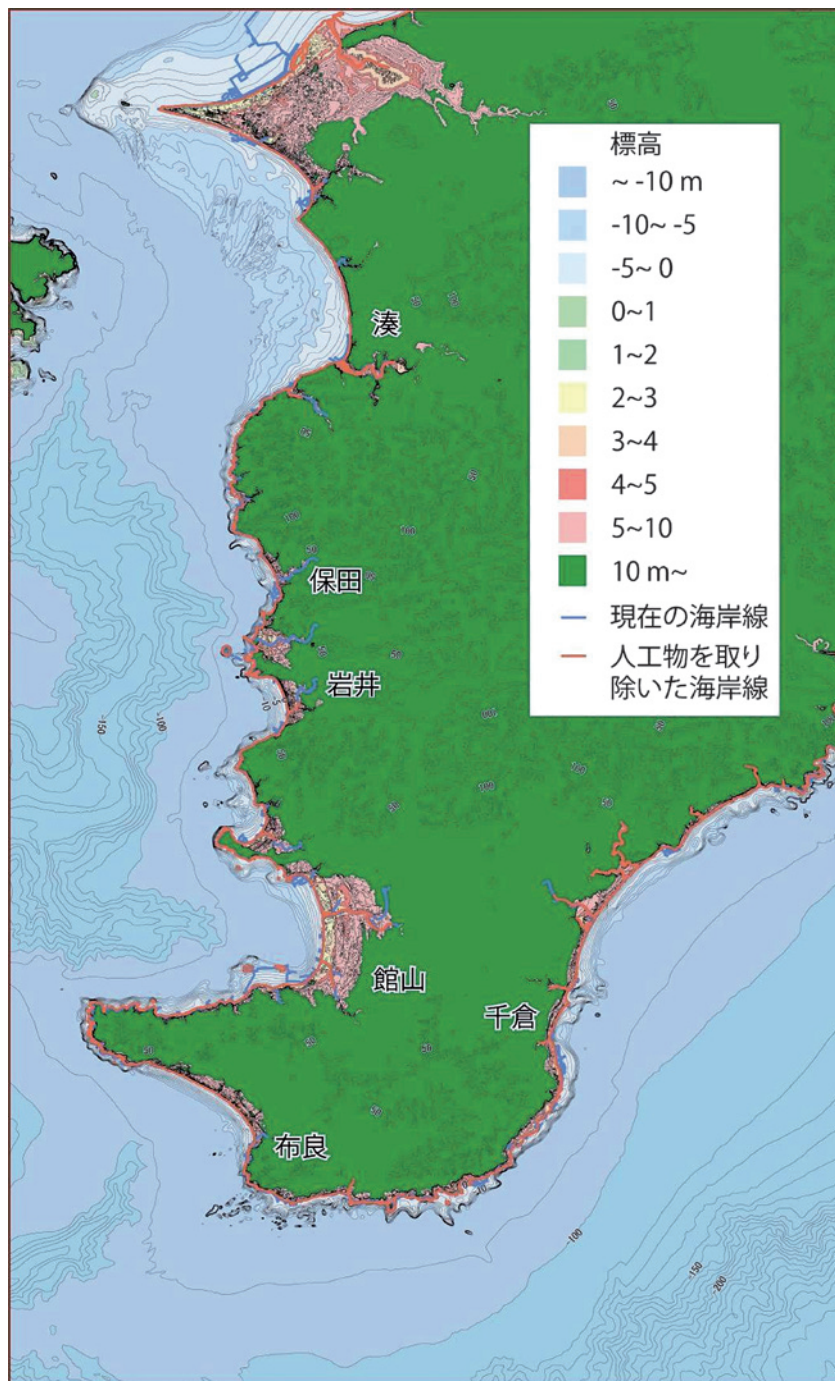


図 8 本業務で得られた詳細な地形データ (富津市～南房総市)。

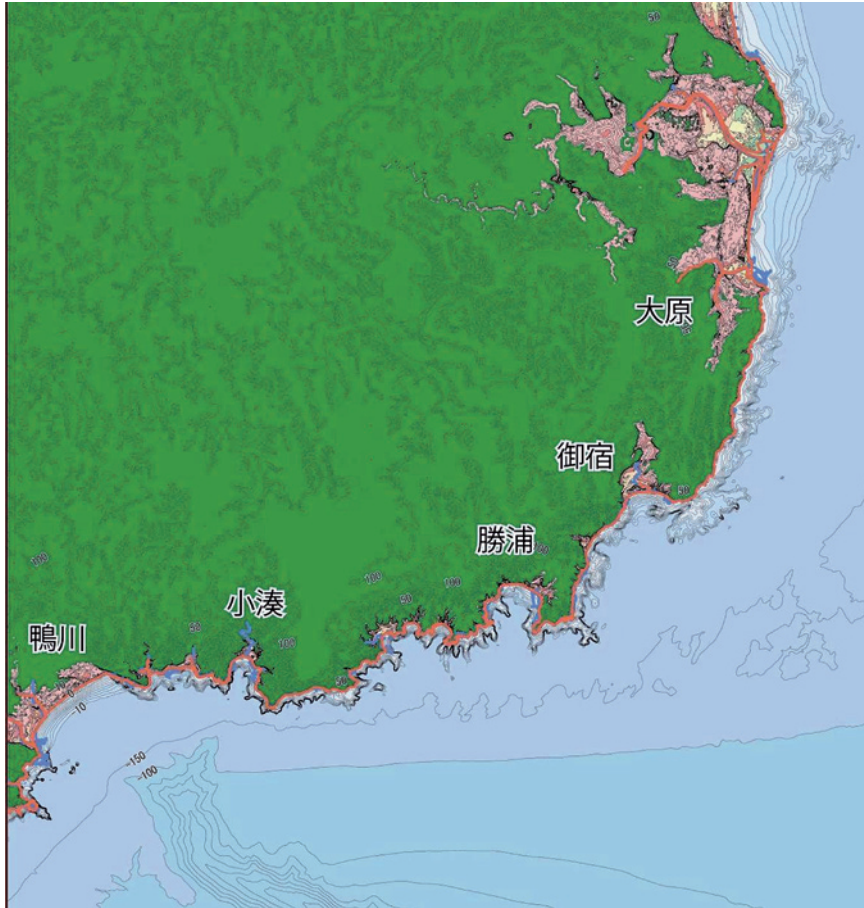


図9 本業務で得られた詳細な地形データ（鴨川市～一宮町）。

6. 相模湾沿岸の古地震調査

6.1 目的と背景

相模トラフで発生した関東地震については1703年元禄地震以前の履歴が未解明であり、より古い時代の履歴解明が関東地震の将来予測にとって重要な課題となっている。歴史記録の研究からは、元禄地震の一つ前の関東地震の候補として1293年永仁地震、または1433年永享地震が考えられている（石橋，1991，1994）。三浦半島周辺で行われた津波堆積物の調査（島崎ほか，2009）によれば、11世紀以降に3層の異常堆積層が認められ、年代測定の結果、上位の2層は大正および元禄地震による津波堆積物、最下位のものには1293年永仁地震に対応する津波堆積物と推定され、一つ前の関東地震が1293年永仁地震である可能性が示唆された。一方、房総半島南西岸の離水海岸地形の研究からは、1293年永仁地震の痕跡は未確認であり、これに代わってAD1000年頃に関東地震の発生が推定されている（穴倉ほか，2001など）。このように、既存の研究結果からは関東地震の履歴に食い

違いがある。房総半島南部の館山平野で掘削したジオスライサー・コア（コア長3.4～4.4m）の上部からは、大正と元禄の関東地震に伴う津波堆積物が報告されている（藤原ほか，2006）。これらのコアではさらに古い時代の地層にも、下位層を削り込んで覆い貝化石などが集積した異常堆積を示す砂礫層（イベント堆積物）が複数認められるが、詳しい年代は不明であった。これらの地層の年代を正確に推定し、関東地震の震源を挟んだ三浦半島の津波堆積物と対比することで、関東地震の履歴復元の信頼度が向上すると期待される。

6.2 調査内容と結果

元禄地震以前の津波堆積物を検出するため、相模湾沿岸の館山市と伊東市の海岸平野（図10，11）で掘削されたコアについて、層相・化石群集の再解析と ^{14}C 年代測定を行った。伊東市のボーリング・コアからは、歴史地震に対応するイベント堆積物は検出されなかったが、館山平野のジオスライサー・コアからは、元禄津波堆積物の下位に明瞭なイベント砂層が3枚認められた（図12）。 ^{14}C 年代測定の結果、これら

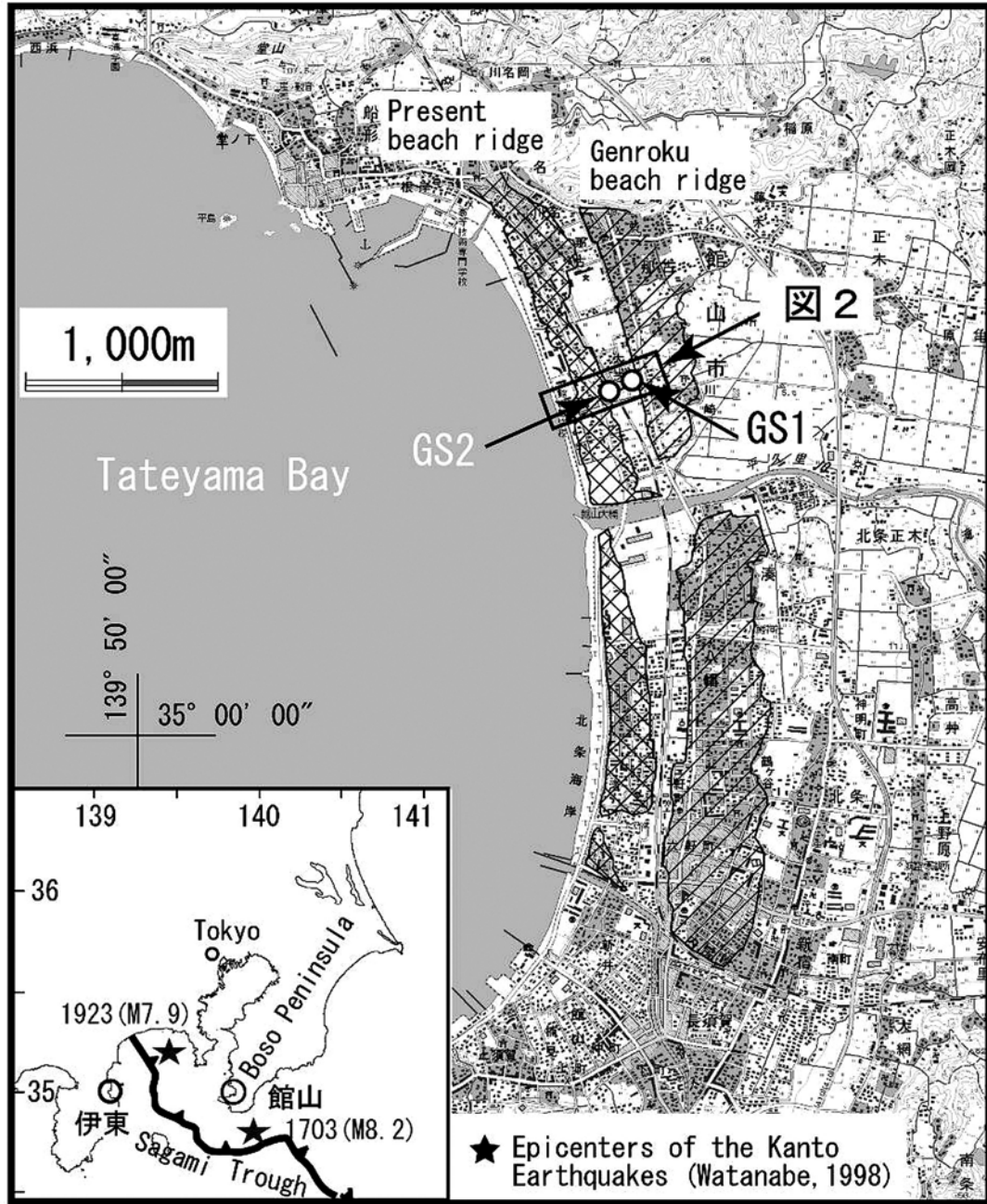


図 10 調査位置図。
藤原ほか（2006）を改変。

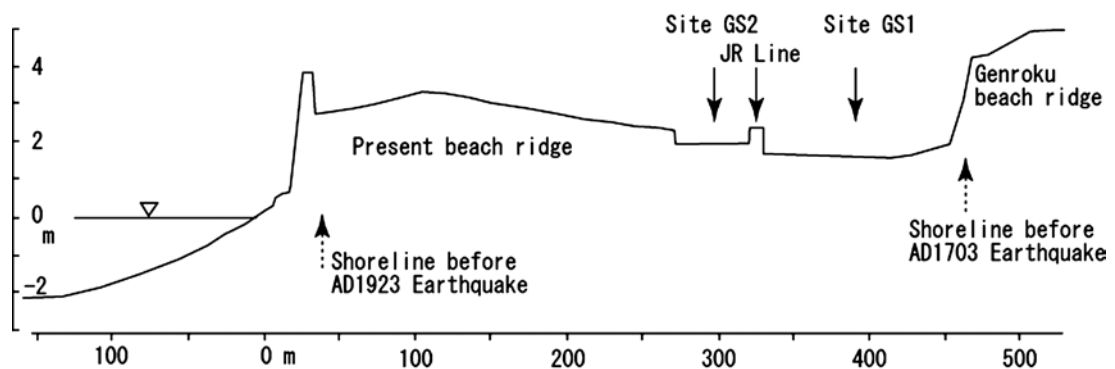


図 11 館山平野の調査地周辺の地形断面 藤原ほか（2006）による。

の堆積年代は上から順に、1300AD 頃、1100AD 頃、900AD 頃と推定された。1300AD 頃のイベント堆積物は、1293 年永仁地震に対応する津波堆積物の可能性がある。900AD 頃のイベント堆積物は砂層とシルト層が数 cm~10cm ごとに互層をなし、砂や礫を運搬する強い流れと、シルト層が堆積する流れの停滞期

が繰り返したことを示しており、長周期の津波で堆積した特徴（藤原，2007）を持つ。年代の推定誤差を考慮すると、このイベント堆積物は穴倉ほか（2001）が推定した AD1000 年頃の房総半島南部の隆起イベントに対応する津波堆積物の可能性がある。1100AD 頃のイベント堆積物については、津波や暴浪など複数

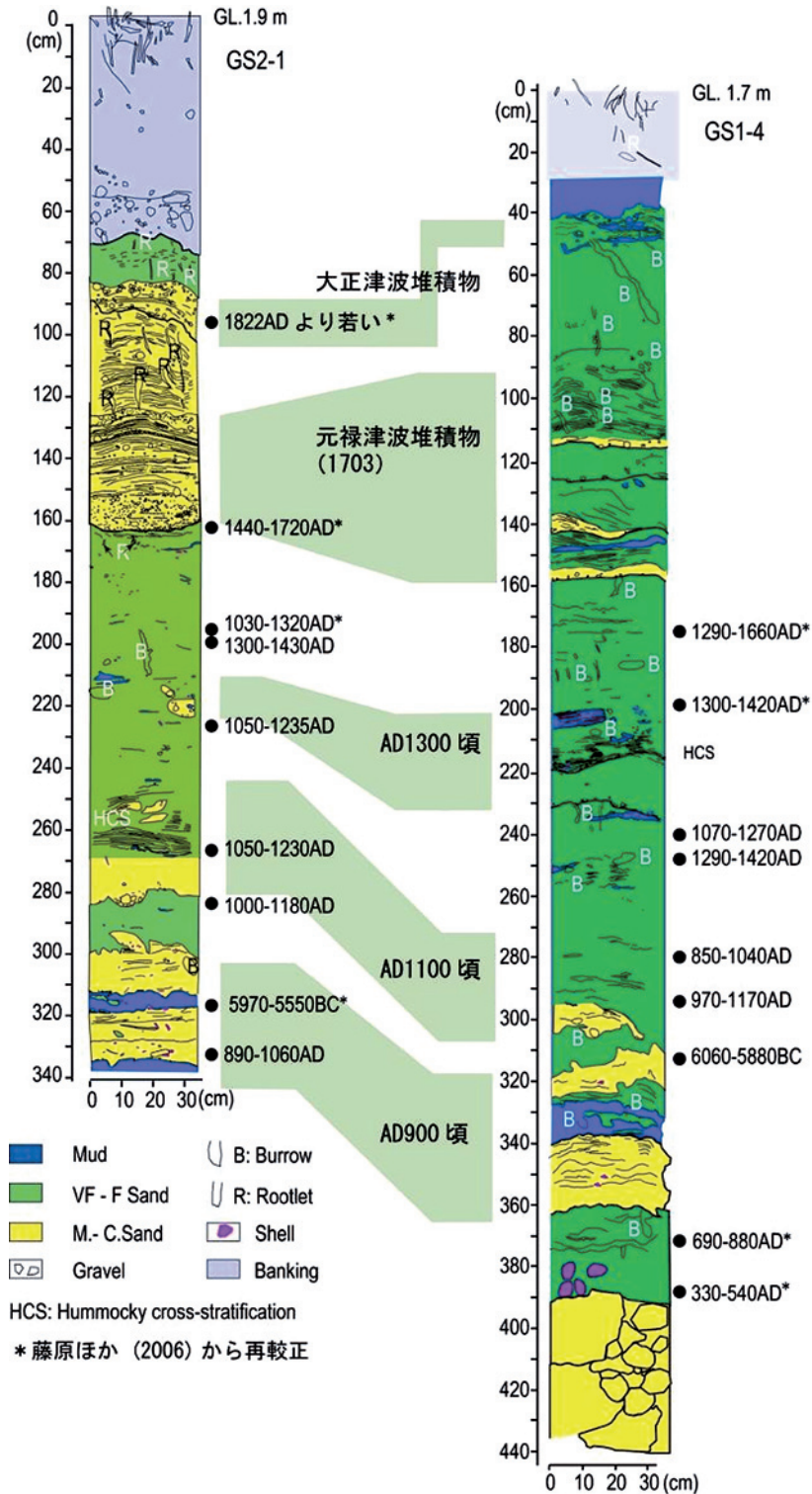


図 12 ジオスライサー・コアのスケッチと較正年代。
藤原ほか（2006）の図に新たな年代測定値を追加。掘削位置は図 11 に記載。

の原因が考えられ、現状では起源を確定できていない。なお、本研究に用いたコアは、原子力安全基盤機構の委託研究「原子力安全基盤調査研究」により 2003 年度～2004 年度に掘削したものである。

7. 浜名湖沿岸の古地震調査

7.1 目的と背景

東海 / 東南海地震の発生履歴は歴史記録などから復元されてきたが、地殻上下変動に関する情報は限られており、断層モデルの構築に課題を残している。また、既存研究からは地震ごとに断層破壊域の広がり異なることが示唆され、こうした地震の多様性の解明も重要な課題である。例えば、1854 年安政東海地震の破壊域は紀伊半島沖から駿河湾にまで及んだが、1944 年東南海地震は相対的に小規模で、破壊域は遠州灘までで駿河湾には及んでいない。一方、1707 年宝永地震は駿河湾から四国沖までの広範囲がほぼ同時に破壊した連動型地震と考えられている。東海 / 東南海地震の断層モデルは、Ishibashi (1981) によるモデルが広く受け入れられているが、熊谷ほか (2009) は東海地域の過去 100 年間の水準測量データや、フィリピン海プレートの形状を考慮して、これを改良した。この修正 Ishibashi モデルで安政東海地震時の地殻上下変動量を計算すると、掛川付近がヒンジラインとなり、これより東側では隆起が、西側 (浜名湖側) では沈降が起こる。ところが、文書や地層記録からは宝永地震では掛川南部の海岸で 1m を超える隆起が生じたらしい (藤原ほか, 2009 など)。熊谷ほか (2009) はこの隆起を説明する断層モデルとして、1) 掛川～磐田の地下に北東-南西に延びる逆断層 (分岐断層) を想定するモデルと、2) 駿河湾に沈み込む断層面のさらに深部延長部までがスリップするモデルの、両方の可能性を示した。1) の分岐断層は局所的な変動を説明できる一方で、このような浅い断層であれば地表に何らかの痕跡が見られてもよいと考えられるが、その痕跡ははっきりしない。2) の深部スリップモデルでは地震時の隆起が西方へ広がり、浜名湖周辺でも 50cm 程度の隆起となる。つまり、浜名湖周辺で地震時に沈降・隆起の何れが起きたかを解明することは、断層モデル構築の鍵となる。

7.2 調査内容と結果

浜名湖沿岸において過去の地殻変動や津波の痕跡を検出するため、1) 歴史地震に伴う地殻変動を記述し

た文書や絵図の収集、2) 歴史記録から地殻変動が推定される場所での予備的な掘削調査、3) 歴史記録の無い中世以前の古地震・津波の調査、を開始した。歴史記録からは、浜名湖北西岸の都田川低地 (図 13) で安政東海地震と宝永地震の際に水田の冠水が認められ、地震沈降が推定された。これを裏付けるため、冠水したとされる範囲で掘削調査と堆積物の ^{14}C 年代測定を行った。その結果、14 世紀以降に明瞭な層相変化が少なくとも 1 回認められ、歴史地震による沈降を示す可能性がある。中世以前の地震については、浜名湖南西岸の六間川低地 (図 14) から、津波堆積物と考えられる砂層を 1 層発見した (図 14, 15)。この砂層は潟湖や湿地で堆積した泥層・泥炭層に挟まれており、海側から陸側へ細粒化・薄層化しながら 500m 以上追跡でき、遡上した津波で形成された可能性が高い。堆積年代は ^{14}C 年代測定と火山灰分析の結果から、約 3400 年前と推定される。

また、これらの低地の過去 6000 年間における環境変化の概要を解明した (佐藤ほか, 投稿中)。来年度以降は、これらの低地で掘削地点を増やして層相の 3 次元的な分布を明らかにするとともに、花粉化石などの分析を行って、歴史地震に伴う沈降現象の有無を確認する予定である。

8. 志摩半島における津波浸水履歴調査

8.1 目的と背景

南海トラフ沿岸地域は有史以降、度々海溝型地震と津波の被害を被ってきた (宇佐美, 2003)。三重県志摩半島を含む東南海地域も永長地震津波 (1096 年) 以降歴史上記録のあるものだけでも明応地震津波 (1496 年)、慶長地震津波 (1605 年)、宝永地震津波 (1707 年)、安政地震津波 (1854 年)、東南海地震津波 (1944 年) によって被害を受けている。豊富な歴史記録が残されているため過去約 1300 年の南海トラフ沿い地域の地震・津波発生履歴は比較的よく知られているものの、江戸時代以前のものについては特定の地域に関する記述しかないなど、過去の地震活動を復元するには十分でないことがある (寒川, 2004)。例えば白鳳地震 (684 年) は遺跡の調査結果から東南海・東海地域まで破壊が及んでいたことが示唆されているが (例えば寒川 2004)、東南海・東海地域におけるこの地震・津波に関する文字記録は見つかっていない。歴史上記録されていない、もしくは先史時代の地震や津波の履歴を知るには地層に残された記録に頼るしか

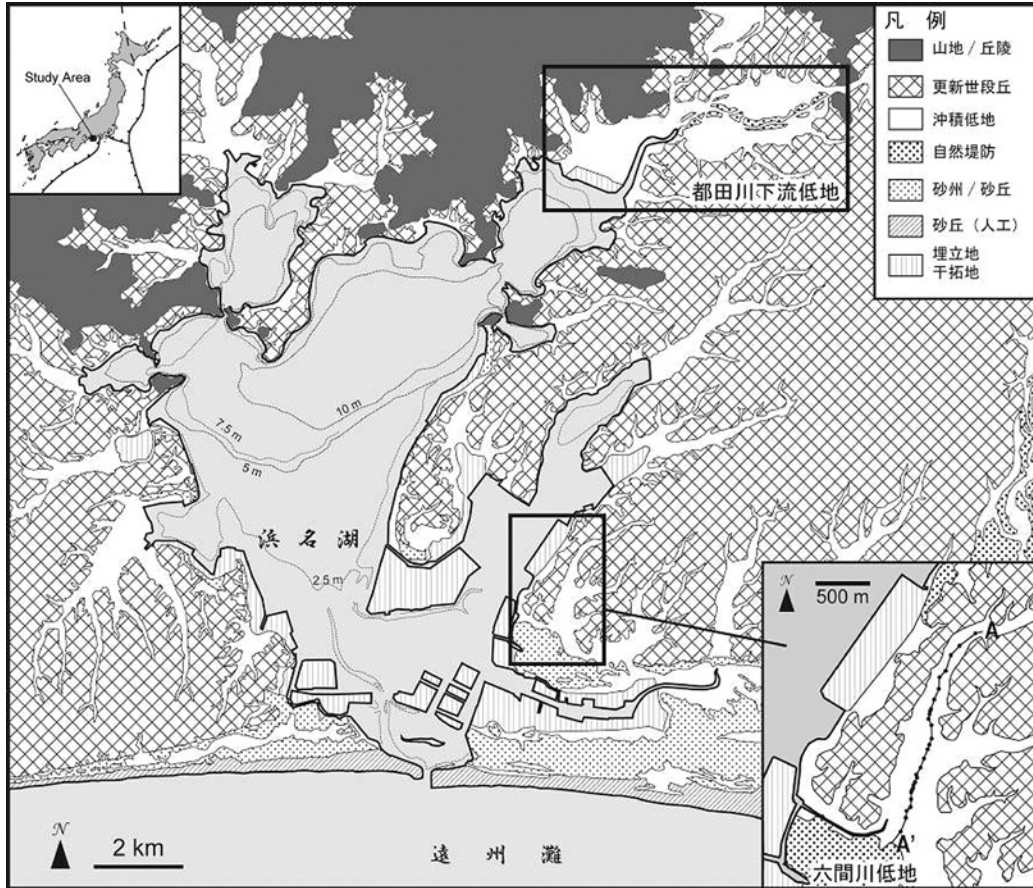


図 13 浜名湖周辺の地形分類と調査位置 佐藤ほか(投稿中)を改変.

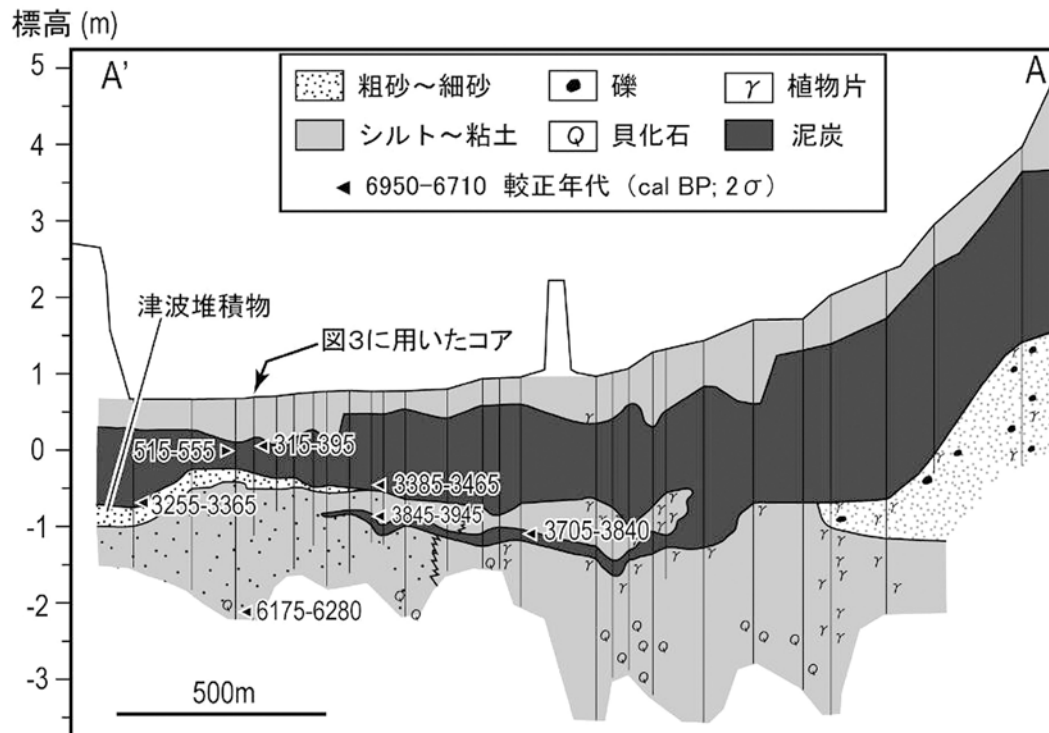


図 14 六間川低地の地質断面図 佐藤ほか(投稿中)を改変. A-A'の位置は図13に記載.

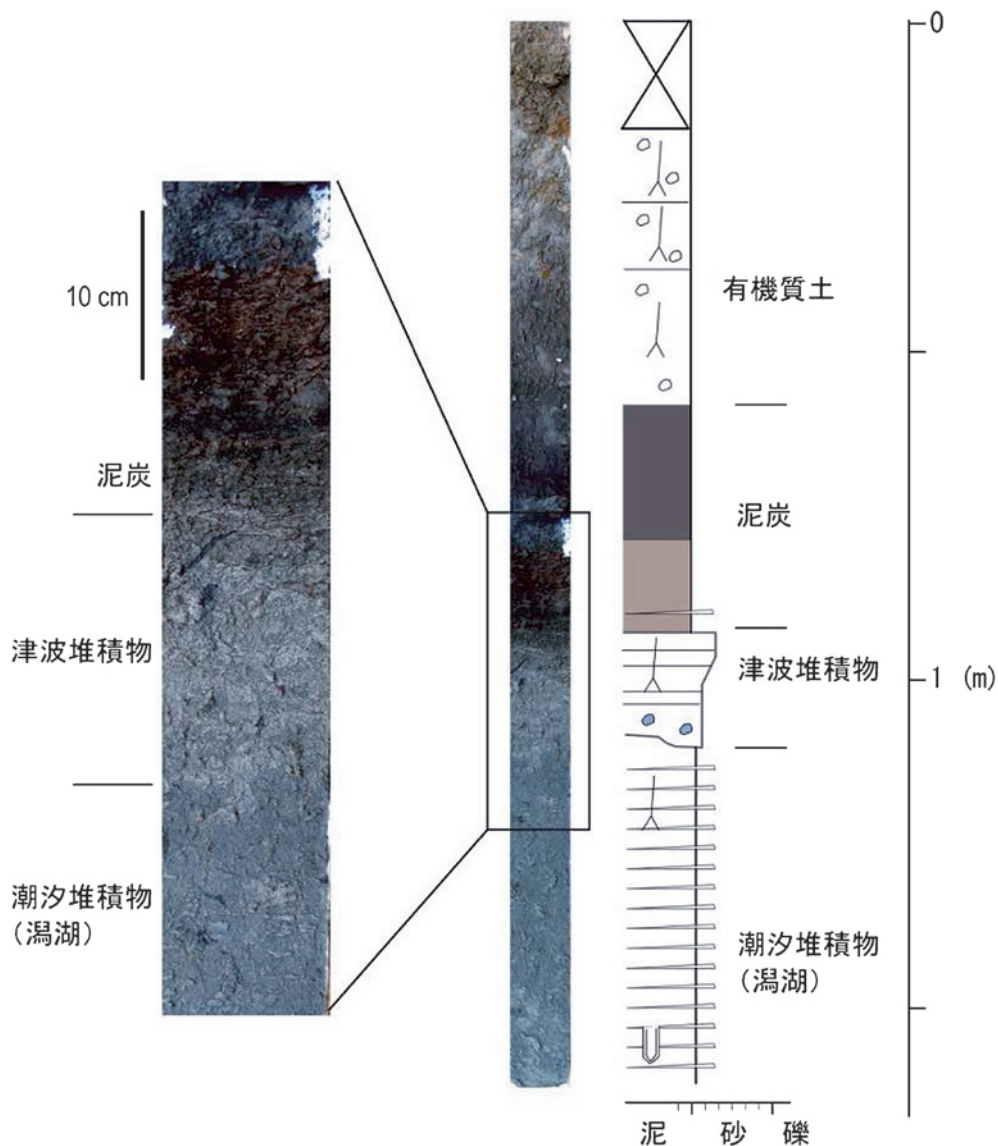


図 15 六間川低地で見られる津波堆積物。

ない。本研究では東南海過去数千年間の地震・津波履歴を明らかにするため志摩市阿児町の沿岸低地において堆積物調査を行った。この低地を含む一帯は安政地震津波（1854 年）による浸水被害を受け、田畑に砂が堆積した記録が残っている。

8.2 調査内容と結果

昨年度までに計 17 地点においてボーリングやハンドコアラーによる堆積物採取が行っている。本年度は昨年度までに得られた試料について放射性炭素年代測定を行うと共に、新たに土壌サンプラーやハンドコアラーを用いて 16 地点で堆積物採取を行った。その結果、約 500 年前から約 4000 年前の間に来た

塩性湿地の堆積物中に津波堆積物と考えられる海棲生物の遺骸を含む砂層が少なくとも 8 層見つかった（図 16）。それらの内上位の 3 層は歴史記録のある約 1300 年前以降に堆積したものであり、白鳳地震（684 年）や永長地震津波（1096 年）、明応地震津波（1496 年）などに対比されるかもしれない。今年度掘削した地点でも昨年度までに採取した試料とほぼ同じ層準で砂層を確認できた。

9. 2009 年サモア諸島沖地震津波の米領サモアにおける津波高さおよび被害の調査

9.1 目的と背景

2009 年 9 月 29 日 17 時 48 分頃 (UTC)、南太

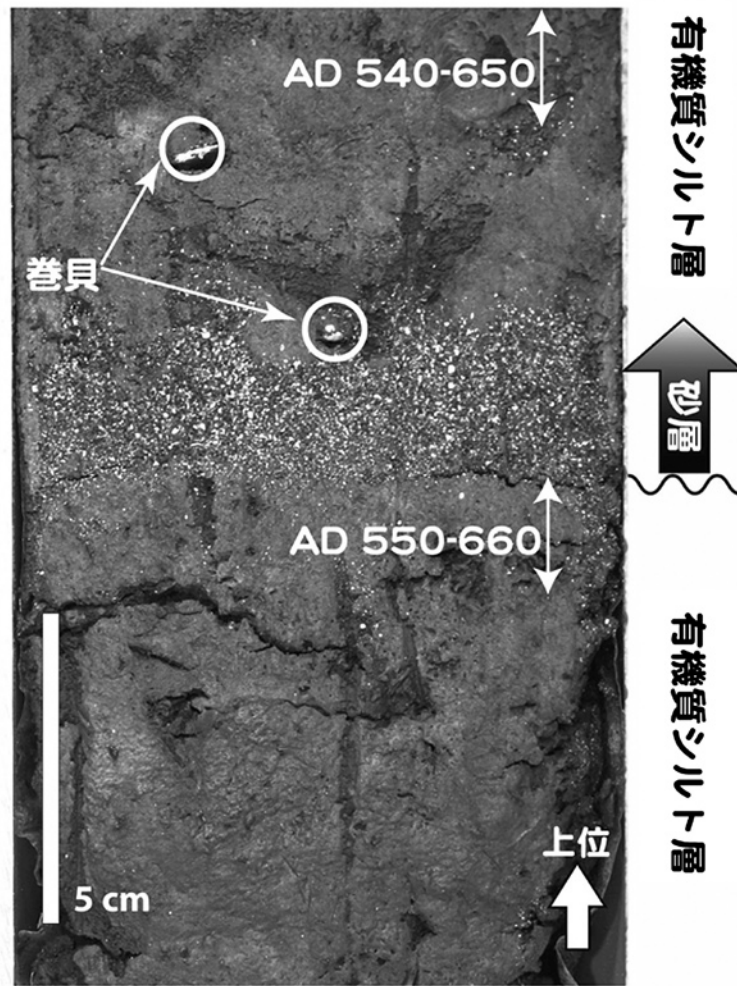


図 16 志摩半島阿児町甲賀字の沿岸低地において採取された津波堆積物の可能性がある砂層。

平洋のサモア諸島沖のトンガ海溝付近で、Mw8.1 (Global CMT) の正断層型の地震が発生した。この地震に伴い津波が発生し、震源域を囲むサモア独立国、米領サモア、およびトンガ国 (図 17) において死傷者や建物流失などの被害が生じた。一般的に、遡上した津波の高さや被害についての情報は痕跡や人々の目撃証言を頼りに得られるが、これらは時間が経つにつれ劣化が生じる。このため、できるだけ速やかに現地調査を行い、津波の高さなどを調査する必要がある。本調査では、津波来襲直後に米領サモアに入り、現地の津波高さや被害の調査を行った。

なお、この調査は越村俊一氏 (東北大学)、西村裕一氏 (北海道大学)、中村有吾氏 (北海道大学)、G. Fryer 氏 (PTWC)、Akapo Akapo 氏 (NWS, NOAA, Am. Samoa)、および Laura S. L. Kong 氏 (ITIC) との共同により行われた。

9.2 調査内容および結果

首都 Pago Pago が位置する米領サモア最大の島は Tutuila 島で、東西に約 30 km 延びる細長い島である。われわれは地震発生の日後である 2009 年 10 月 5 日から 8 日にかけての 4 日間、この Tutuila 島全島にわたる 50 地点において津波調査を行った。

調査内容は主に津波の被害の程度、浸水の痕跡や住民の目撃証言による浸水高 (津波来襲時の海面からの高さ) や浸水深 (地盤面からの高さ)、および住民の避難行動などを中心とした。とくに浸水高や浸水深についてはトータルステーションを用いて正確に測定することに努め、その測定値に対する信頼度も評価した。なお、測定時と津波来襲時の海面の高さについては Pago Pago における観測潮位を用いて補正した。

結果を図 18 に示す。このうちもっとも浸水高が高かった地点は、震源域に直面する島西端の Poloa で 16.3m (遡上高) であり、崖の上に生える植物が津波

により枯死した様子が明瞭に観察された。同集落では図 19 にあるようにほとんどの建物が破壊・流失されるという壊滅的な被害に見舞われた。その一方で住民からのヒアリング調査によれば、津波来襲以前に現地機関による津波の啓蒙活動があり、そのおかげで地震発生直後にほとんどの住民が高台に逃げたため、死者は 2 名にとどまった。このような傾向は全島に見られ、ラジオ放送を通じての避難の呼びかけも功を奏して、大きな被害が発生したにも関わらず島内の死者は 30 人強（人口約 7 万人）と比較的少なかった。震源域からもっとも遠方に位置する島東端の Tula においても、4-6m の浸水高が測定された（図 19）。浸水深にして 2.5m であるが、この程度の浸水深にしては建物の流失および全壊が激しく、流速が比較的速かったことが示唆される。建物の密度や人口密度が高い島中央部の Pago Pago では、4-7m の浸水高が測定された。同地域でも建物の流失や全壊が多く見受けられた。また、津波来襲直後に撮影された衛星写真には、空港の滑走路に打ち上げられた珊瑚片が観察されたが、こ

の位置を写真から読み取り、実際に滑走路でその高さを測定したところ 2m 程度の遡上高であった。このほか、ヒアリング調査により津波の第 1 波の押し引きや到達時刻などを調査したところ、おおむね全島で最初引き波から始まり、地震発生から 5-10 分程度で第 1 波が到達したことがわかった。

以上まとめると、次のことがわかった。(1) 震源域に直面する Tutuila 島西端では最大で 16m の遡上高が測定された。一方、島東端でも 6m もの浸水高が測定された。(2) ほとんどの集落で物の流失および全壊被害が甚大であり、特に南西岸の集落はほぼ壊滅状態であった。(3) 津波はまず引き波から始まり、地震発生から 5-10 分程度で第 1 波が来襲していたことが分かった。(4) 建物被害の割に死者数は少なかった。調査の結果、現地行政機関による啓蒙活動やラジオ放送を通じて避難の呼びかけのおかげで、地震直後に高台に避難する行動が根付いていたことがわかった。

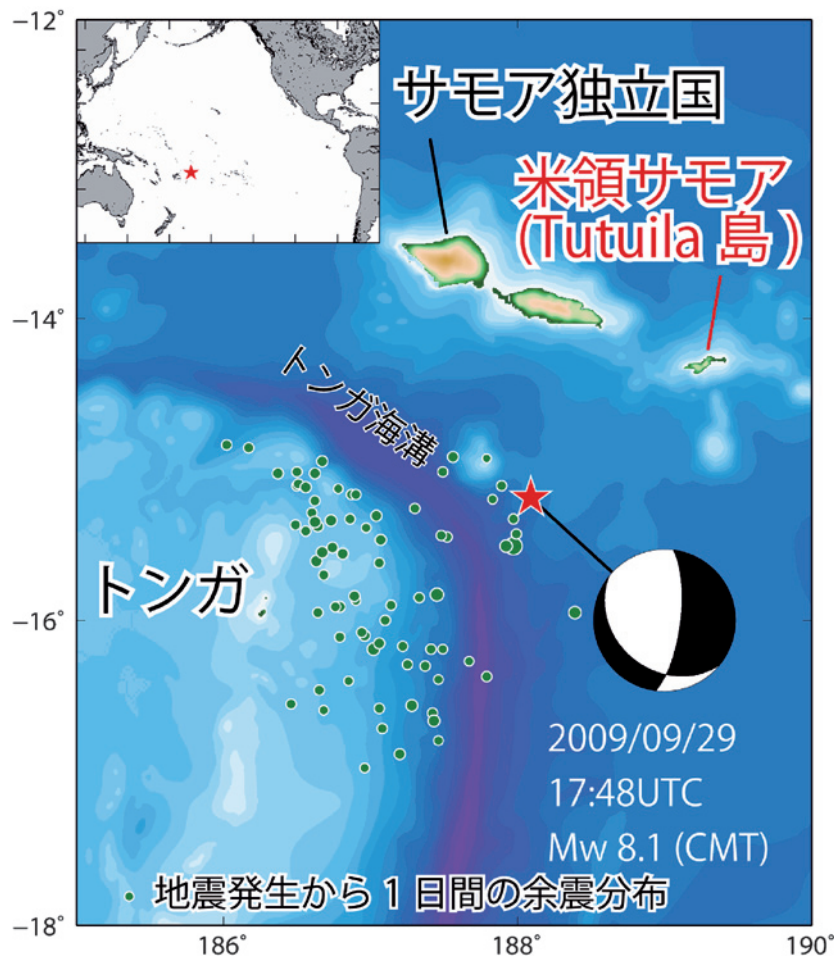


図 17 2009 年サモア地震の本震の位置（赤星印）およびメカニズムと余震分布（緑丸印）。

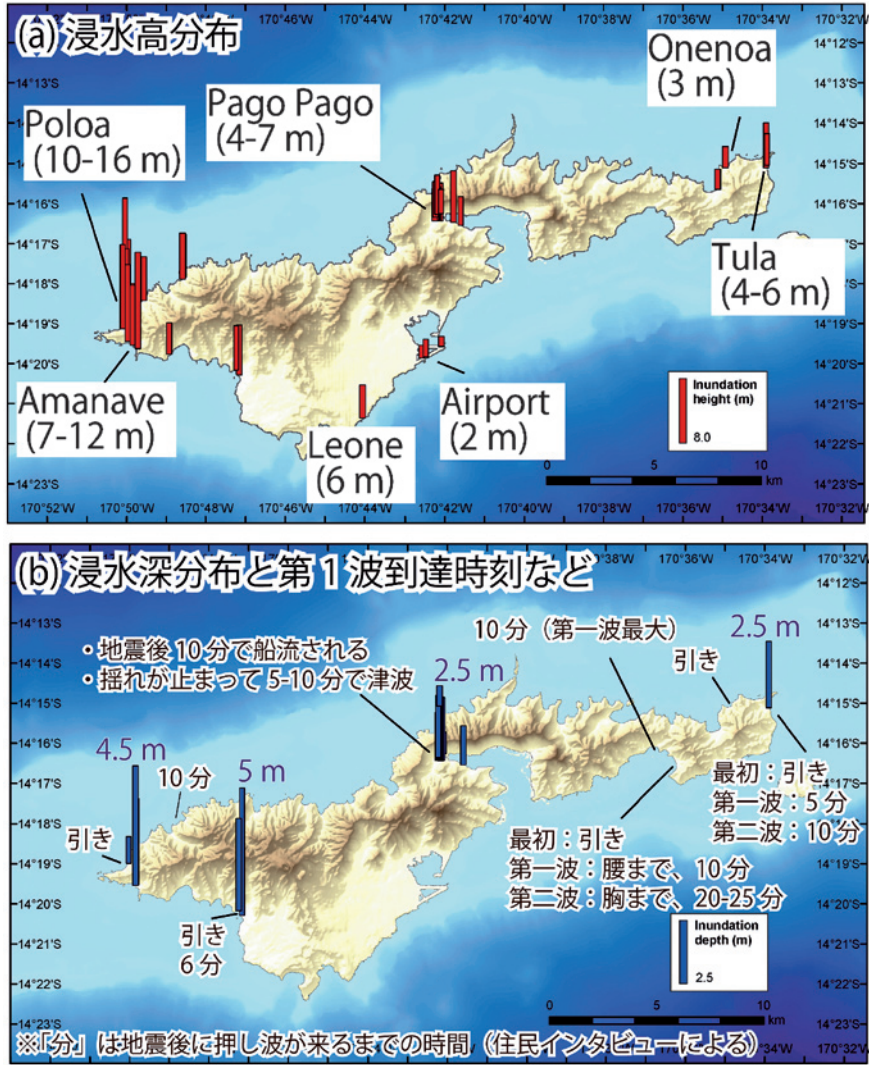


図 18 調査結果に基づく Tutuila 島沿岸の津波浸水高分布 (b) 調査分布に基づく同島沿岸の津波浸水深分布および第一波の動きなどに関する情報.



図 19 Poloa における被害の様子.

文献

- 藤原 治・平川一臣・入月俊明・鎌滝孝信・内田淳一・阿部恒平・長谷川四郎・高田圭太・原口強 (2006) 1703 年元禄・1923 年大正関東地震に伴う房総半島南西岸の館山浜堤平野システムの発達過程. 第四紀研究, 45, 235-247.
- 藤原 治・小野映介・矢田俊文・海津正倫・岡村行信・佐竹健治・佐藤善輝・澤井祐紀・Than Tin Aung (2009) 歴史と地層記録から確認された 1707 年宝永地震による遠州灘沿岸の隆起. 月刊地球, 31, 203-210.
- 藤原 治 (2007) 津波堆積物: 最近 20 年間の主な進展と残された課題. 第四紀研究, 46, 451-462.
- 羽鳥徳太郎 (1976) 南房総における元禄 16 年 (1703 年) 津波の供養碑. 東京大学地震研究所彙報, 51, 63-81.
- 羽鳥徳太郎 (1995) 岩手県沿岸における慶長 (1611) 三陸津波の調査. 歴史地震, 11, 55-66.
- Ishibashi, K. (1981) Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics. In Simpson, D.W. and Richards, P.G. (eds.) Earthquake Prediction: An International Review, pp. 297-332, AGU, Washington, D.C.
- 石橋克彦 (1991) 1293 年永仁鎌倉地震と相模トラフ巨大地震の再来時間, 地震学会講演予稿集, 1991 年度秋季大会, 251.
- 石橋克彦 (1994) 大地動乱の時代—地震学者は警告する—. 岩波書店, 234pp.
- 笠原慶一, 山田重平, 安藤雅孝 (1973) 南関東の地殻変動-展望と作業仮説-. 関東大地震 50 周年論文集, 103-116.
- 熊谷博之・藤原 治・佐竹健治・鷺谷 威 (2009) 歴史・地質・測地データを用いた過去の東海地震の断層モデルの再検討. 地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, T225-P005.
- Matsuda, T., Ota, Y., Ando, M., Yonekura, N. (1978) Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data. Geol. Soc. Am. Bull., 89, 1610-1618.
- 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, 8, 71-89.
- Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K., Okaya, D., Abe, S., Kobayashi, R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Ikawa, T., Kawanaka, T., Kasahara, K., Harder, S. (2005) Earthquake source fault beneath Tokyo. Science, 309, 462-464.
- 佐藤善輝・藤原 治・小野映介・海津正倫: 浜名湖沿岸の沖積低地における完新世中期以降の環境変化 (地理学評論, 投稿中).
- Sawai Y. (2001) Episodic emergence in the past 3000 years at the Akkeshi estuary, Hokkaido, northern Japan. Quaternary Research, 56, 231-241.
- Sawai, Y., Nasu H., Yasuda Y. (2002) Fluctuations in relative sea-levels during the past 3000 years at the Onnetoh estuary, Hokkaido, northern Japan. Journal of Quaternary Sciences, 17, 607-622.
- 澤井祐紀, 穴倉正展, 岡村行信, 高田圭太, 松浦旅人, Aung, T. T., 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) ハンディー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, 7, 47-80.
- 澤井祐紀, 穴倉正展, 小松原純子 (2008) ハンドコアラ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, 8, 17-70.
- Sawai, Y., Kamataki, T., Shishikura, M., Nasu, H., Okamura, Y., Satake, K., Thomson, K.H., Matsumoto, D., Fujii, Y., Komatsubara, J., Aung, T.T. (2009). Aperiodic recurrence of geologically recorded tsunamis during the past 5500 years in eastern Hokkaido, Japan. Journal of Geophysical Research, 114, B01319, doi:10.1029/2007JB005503
- 寒川 旭 (2004) 遺跡で検出される地震の痕跡. 地質学論集, 58, 11-18.
- 島崎邦彦・石辺岳男・佐竹健治・都司嘉宣・須貝俊彦・岡村 眞・松岡裕美・金 幸隆・千葉

- 崇・藤原 治・行谷佑一 (2009) 三浦半島小網代湾津波堆積物に基づく元禄地震より前の関東地震. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会講演要旨, S221-013.
- 穴倉正展・原口 強・宮内崇裕 (2001) 房総半島南西部岩井低地の完新世離水海岸地形からみた大正型関東地震の発生年代と再来間隔. 地震(2), 5, 357-372.
- 穴倉正展, 澤井祐紀, 岡村行信, 小松原純子, Aung, T. T., 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, 7, 31-46.
- 武田哲也, 笠原敬司, 木村尚紀 (2007) 相模トラフ周辺域におけるフィリピン海プレート等深度曲線マップの作成? 紙記録のマルチチャンネル反射法探査データのデジタル化復元-. 月刊地球 / 号外, 57, 115-123.
- 東京大学地震研究所 (1934) 昭和八年三月三日 三陸地方津波に関する論文及報告. 東京大学地震研究所彙報. 別冊. 1, 9-250.
- Tsumura, N., Komada, N., Sano, J., Kikuchi, S., Yamamoto, S., Ito, T., Sato, T., Miyauchi, T., Kawamura, T., Shishikura, M., Abe, S., Sato, H., Kawanaka, T., Suda, S., Higashinaka, M., Ikawa, T. (2009) A bump on the upper surface of the Philippine Sea plate beneath the Boso Peninsula, Japan inferred from seismic reflection surveys: A possible asperity of the 1703 Genroku earthquake. *Tectonophysics*, 472, 39-50.
- 宇佐美龍夫 (2003) 最新版日本被害地震総覧 [416]-201. 東京大学出版会, 605 pp.
- 渡邊偉夫 (2000) 869 (貞観 11) 年の地震・津波と推定される津波の波源域. 津波工学研究報告, 17, 27-37.
- 渡邊偉夫 (2001) 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, 17, 130-146.