

大地が伝える津波と地震の記憶：
静岡・伊豆の堆積物調査から

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2014-06-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 北村, 晃寿 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/7847

大地が伝える津波と地震の記憶

——静岡・伊豆の堆積物調査から——

北村 晃寿

はじめに

本日の話は、五つあります。

一番目に、二〇一一年三月十一日に発生した巨大津波と、貞観津波の津波堆積物についてお話しします。二番目に、二〇一三年五月に公表された、南海トラフの地震活動の長期評価の第二版を紹介します。この評価で、伊豆半島南部の津波高が変更されたわけです。三番目に、静岡・清水平野の津波堆積物調査の結果を紹介します。四番目に、下田・南伊豆周辺の津波堆積物・古地震調査の結果をお話しします。そして、五番目は私の研究ではありませんが、今回沼津市でお話ししますので、沼津西部の浮島ヶ原の津波堆積物の研究をご紹介します。

二〇一一年三月十一日に発生した巨大津波と貞観津波の津波堆積物

十宮古市を襲った大津波

図1は宮古市を襲った大津波です。海から押し寄せてきた真黒な泥水が堤防を乗り越えていきます。秒速は八メートルにも達します。一〇〇メートル走で一三秒を切る人は助かりますが、私もちょっと自信がありません。気付いてからでは、逃げ切るのはかなり厳しいのです。

さて、津波に似た事象には



図1 宮古市を襲った大津波／山田・藤野(2011)、ナショナルジオグラフィック(http://www.nationalgeographic.co.jp/news/news_article.php?file_id=2011031604)

高潮があります。図2の上段が津波で、下段が高潮です。

図3は、東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波の有様を記録したもので、マグニチュード九クラスの地震に伴う巨大津波では、世界で初めての記録です。

釜石沖のGPS波浪

計で観測されたものですが、左側に潮位偏差があります。目盛は1・2・3・4・5・6・7メートル。下に向かってマイナス1メートルからマイナス4メートルです。今回の津波の場合には、第一波が二メートルに達し、安定した後、いきなり非常に高い津波が発生しました。

図3の横軸は時間を表していますが、一目盛は一時間です。沖合では、第一波が三月十一日一五時を少し過ぎてからです。それから第七波までであり、それが静まったのは夜の九時です。

改めて図1を見ていただきますが、海面の高さはずっと

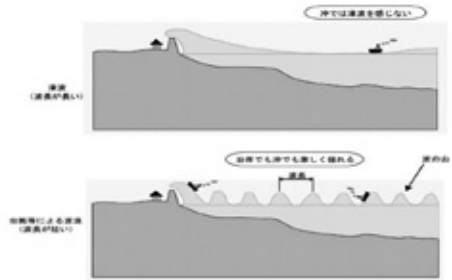


図2 津波と高潮の模式図／国土交通省四国地方整備局 (<http://www.skr.mlit.go.jp/bosai/jishin/tounankai/kisochishiki/tunamikankei/douchigauno/douchigauno.html>)

沖まで同じです。波には見えません。

日本人の場合は、津波の「波」という言葉のイメージに引っ張られてしまい、普通の波のイメージを持ってしまいます。ご存知のように、津波は英語になった日本語です。英語では、津波と高潮を区別せずにマリNFLラッドと呼びますが、マリNFLラッドは海の洪水ですから、波という認識ではないのです。

一時間に一つの波なので、二〇分く三〇分以上ずっと一方向に流れ続けます。そのため、すごい破壊力があります。

図4は仙台平野の海岸の様子ですが、電信柱が津波で倒され、さらにコンクリートがはがされて、中の金属棒がむき出しになっ

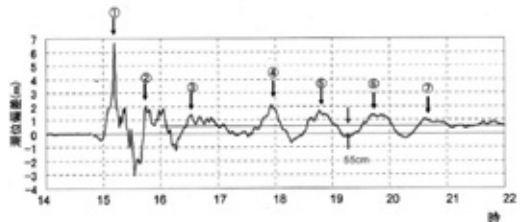


図3 釜石沖GPS波浪計で観測された海面変動／港湾空港技術研究所 (<http://www.pari.go.jp/files/items/3527/File/results.pdf>)



図4 津波の威力

てしまいました。

さて、今回の津波が被害を大きくした理由がもう一つあります。

それは地震で東北の沿岸部が沈降したことです。最も沈んだ牡鹿半島の沈降量は一メートルです（図5）。他の所でも二〜三〇センチ

メートル沈降したので、その分だけ波の高さは高くなったのです。ところが、広域が一瞬で沈降したため、その事実が気が付かなかったのです。

＋東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波と津波堆積物

私は、東北新幹線が復旧してから、仙台の海岸低地を調査しました（図6）。大沼という比較的人工物が無い所で調査しましたが、人工物がある所ではその影響を受け、津波の流れ方が変わるため、そうではない所で津波堆積物を調査したのです。図中の7・6・5・4・3・2・1という数字は浸水した高さです。

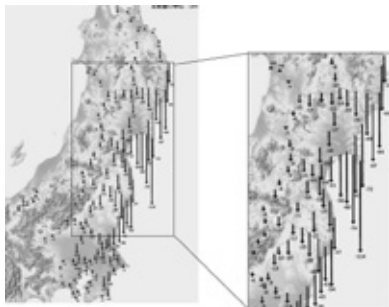


図5 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動(上下, cm) / 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/common/000062923.pdf>)

図7は稲刈りを終え

た田んぼでした。田んぼの所にうっすら白く見えるのが、津波が運んだ海岸の砂です。右上に自動車があります。これは道路に停まっているのではなく、田んぼのど真ん中にあるのです。もう地震から二か月経っていますが、まだ放置状態でした。

この辺りは、海岸の砂が一面に広がり、その砂の上を薄い泥が覆っています。この泥が津波を真っ黒くした物質です。この場所では、水田や堀や水路の泥を、津波が巻き上げて持ってきた。その下に、砂質の津波堆積物があります。三月十一日、

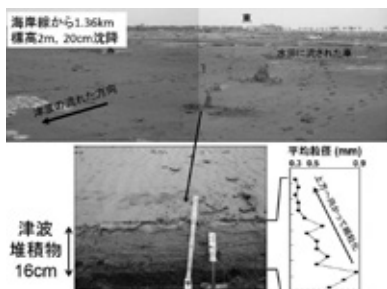


図7 津波の跡

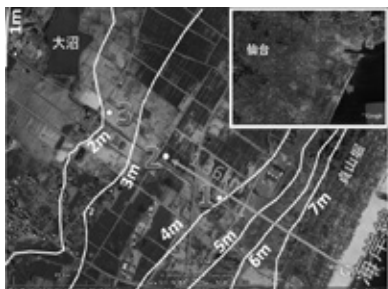


図6 東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波と津波堆積物 / Google earth
※白線はTakashimizu et al. (2012)による東北日本太平洋沖地震に伴う津波の浸水深

津波の来る直前の地表面は黒い層の上面で、砂層の厚さは二〇センチメートルです。

堆積物は、上に向かってどんどん粒が細かくなります。これは、津波の流れがだんだん弱くなり、水が停滞したことを示します。津波は、内陸部に向かってだんだんパワーが落ちるので、津波堆積物は薄くかつ細かくなり、最後はヘドロになります(図8)。

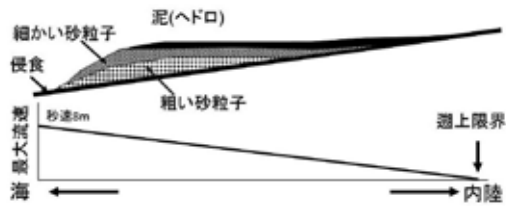


図8 最も単純な津波堆積物の断面図

さて、この三月十一日の巨大津波ですが、東北大学の箕浦先生が二〇〇一年に、非常に似ているものとして八六九年の貞観津波というのを明らかにしています。

『三代実録』という古文書によれば、貞観津波は「地震があり、その当時の家屋・城壁が非常に崩れた後、津波が来襲し海水が城下にいたり、とにかくいろいろな被害が出て、死者が約千人。岩沼の千貫山付近に十メートル近くまで波

が来た」とされています。また、福島県相馬郡でも高所に津波が這い上がって来た伝承があります。この古文書記録を科学的に調査して津波堆積物を発見し、二〇〇一年に論文として発表したのです。

英語の論文ですが、和訳すると「東北日本の太平洋沿岸における八六九年の貞観津波堆積物と大津波の再現間隔」です。

＋巡検

今年(二〇一三年)九月に日本地質学会が仙台で開催され、その時に巡検に参加しました。図9の真ん中にいらっしゃるのが箕浦さんと、直に津波堆積物について説明しています。

図10の見方ですが、図中に1・0・1・2・3メートルとありますが、これは標高です。仙台平野の沿岸部は、三メートル以下の低地がずっと続きます。海岸から三キロメートル内陸の所で、二・五メートルくらいの低地になっています。静岡県という



図9 巡検で説明する箕浦博士

と、これと似た所は浜松市の南区です。

図11をご覧ください。地表面があり、掘るとこのように層になっていきます。中央部の層は、十和田a火山灰という西暦九一五年に噴火した火山灰層で、その直下に海岸の砂とそっくりなものがあります。これが貞観の津波堆積物なのです。

箕浦さんは、貞観の津波堆積物は、内陸部に向かってだんだん薄くなって細粒化すると述べています。実際に、今回の巡検では、遺跡調査のトレンチで、貞観津波の堆積物を観察しました。

一番上の色の薄い層が、二〇一一年三月十一日の津波堆積物です。この場所は、遺



図11 2013年9月13日の巡検(仙台平野)

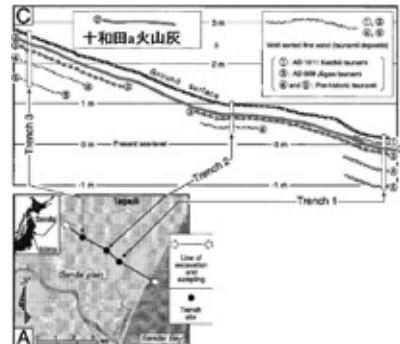


図10 西暦869年の貞観津波の堆積物 / Minoura et al. (2001)

跡調査のため、津波堆積物を除去してありませんが、多くの場所では、塩を含むので除去されています。

十和田a火山灰の下の黒ずんだ層が、八六九年の津波の堆積物です。貞観の津波の時には、仙台平野は今より少し海岸線が陸側にあつたのですが、それを差し引いても、八六九年の津波は、二〇一一年三月十一日の津波と同じような粒の大きさ、同じような厚さで分布しています。

十貞観津波の研究

八六九年の津波堆積物の分布を元に、箕浦さん達は、津波の遡上の範囲を推定し、津波の波源域を復元しました。

図12の左中央に「Tsunami Source」と

書いてありますが、ここで津波を起こした海底の地殻変動があつたと推定したのです。今回の地震の波源域と一致します。そして、マ

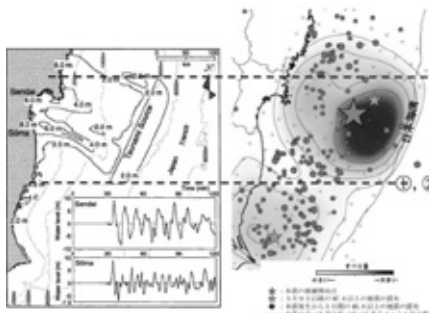


図12 気象庁報道発表資料「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第28報) / Minoura et al. (2001)

グニチュードを八・三と推定しました。

図13は柱状図

といい、地層の積み重なりを表すもので

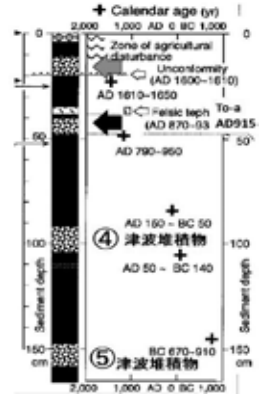


図13 柱状図 / Minoura et al. (2001)

ですが、上から二つ目の矢印が貞観の津波堆積物です。その下の地層にも津波堆積物があり、箕浦さん達は二〇〇一年の論文の中で、貞観の津波と同じ規模の津波が、だいたい一〇〇〇年間隔で起きていること、そして、貞観津波が起きてから既に一一〇〇年経っていること、近いうちに大津波の押し寄せる可能性が高いことを記していました。

ただし、地震の発生予測は難しく、一〇〇〇年に一度の現象の場合、一〇パーセントずれると一〇〇〇年もずれてしまいます。したがって、誤差があるものを、どうやって防災に活かすかが問題でした。通産省の産業技術総合研究所の専門家が東京電力に対して、福島第一原発・第二原発に関して、ディフェンスをもっと強化するようにと地震前に提言していたのですが、活かされませんでした。

貞観の津波堆積物の下の地層にある津波堆積物は、日

本地質学会の巡検で掘られたトレンチでも観察できました。図14はその時の写真ですが、十和田a火山灰の直下が貞観津波（八六九年）の堆積物です。

トレンチの底からは水が湧いてくるので、ポンプで水を吸い

上げています。図中央付近に砂が上がってくる様子が見え、これを拡大したものが図15です。これが、貞観津波の一つ前の津波の堆積物です。

津波堆積物は海岸の砂なので、粒の大きさが揃っています。そのため水を通しやすいので、地下水が出てくるのです。地震があると、この津波堆積物は液状化を起こすこともあるでしょう。

十 研究のその後

箕浦さんたちの研究の後、産業技術総合研究所のグルー



図14 巡検で確認された津波堆積物

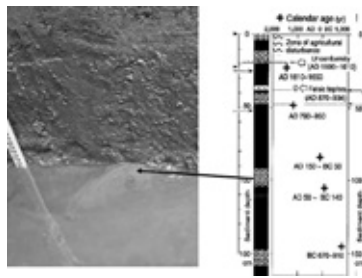


図15 貞観津波の津波堆積物より下位の津波堆積物

プ（穴倉さん達）が、福島第一原発あたりまで調査し、二〇一〇年八月の段階で、南相馬市小高区における貞観津波の遡上距離は、少なくとも一・五キロメートルと推定しており（図16）、このようなデータを元にして、問題意識は高まっていました。

図17は島崎邦彦さんの研究ですが、島崎さんは今、原子力規制委員会の委員をされています。二〇一一年から二〇一二年の間、

静岡大学防災総合センターの客員教授だったので、私もその時に初めてお会いしていろいろお話を伺いました。その後、原子力

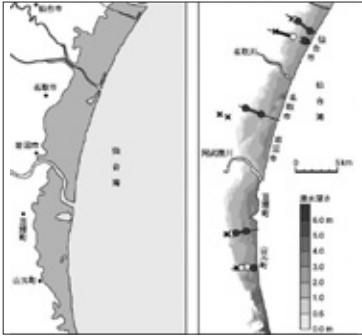


図17 宮城県仙台市から巨理郡山元町までの海岸の浸水範囲概況図と貞観地震の断層モデルによる浸水域（左：今回の浸水域、右：貞観の津波の浸水域）／島崎（2011）

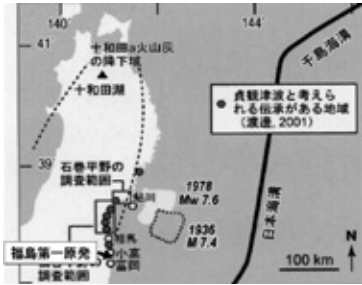


図16 平安の人々が見た巨大津波を再現する一西暦869年貞観津波一／穴倉ほか（2010）

規制委員会の委員になり、静岡大学を辞められたのです。この島崎さんが、今回の浸水域の状況と、貞観津波の津波堆積物から推定した浸水域とが、非常に良く似ていることを指摘しています。したがって、貞観津波の情報をきちんと活かしておけば良かった、ということになっているのです。

南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）

十南海トラフ

今回の事象は、日本観測史上最大規模のマグニチュード九という地震であり、観測史上最大の津波高ということです。そして二万人もの死者が出るものでした。また、物凄いや量の音声や画像が残っており、それらへのアクセスが容易なため、静岡県を含めた南海トラフ沿いの地域住民に与えた影響が強かったのです。さらに福島第一原発でメルトダウンが起き、そこが首都圏に近いため、今回の災害を教訓として、南海トラフの地震についての想定が見直されました。

図18は、二〇一三年五月に出された、南海トラフの地震活動長期評価の第二版です。左側は前回の評価で、

二〇〇一年九月二十七日に公表されましたが、今回大幅に変更されました。日本の地震学者が、今回の地震は想定外だったというので、今後想定外ということがないようという方針に変えたためです。もちろん、貞観津波の津波堆積物の情報を十分に考慮しなかったという反省も踏まえています。

地震の最大規模はマグニチュード九・一クラスに引き上げられました。また、破壊領域をかなり広げました(図19)。さらに、南海トラフの地震活動の東端について、新しい考え方も紹介しています(図20)。すなわち、「遠州灘く銭州海嶺付近く新島・神津島付近く相模トラフのどこかに、巨大地震の震源域に含まれる領域が存在する可能性はある。ただし、科学的知見の収集・整理が不十分であるから、駿河トラフのトラフ軸

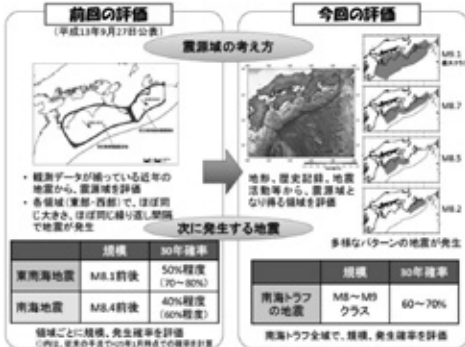


図18 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版) 2013年5月 / 地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

から富士川河口断層帯を結ぶ線を東端とする」ということです。

伊豆半島はフィリピン

海プレートの一部であり、それが本州に衝突しているため、フィリピン海プレートはユーラシアプレートの下に沈み込めなくなっています。そのため、伊豆半島沖に新しい沈み込み帯ができつつあると考えられているのです。

十歴史地震

図21は歴史記録から見た震源域の多様性です。一番古い記録は六八四年の白鳳(天武)

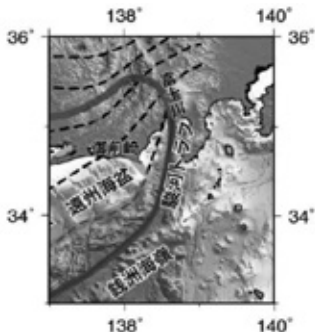


図20 南海トラフの地震活動の東端について / 地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

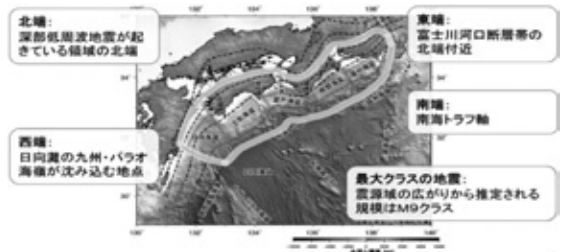


図19 評価対象領域 / 地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

地震で、その後、大規模な地震が南海トラフで何回も起きています。この震源域が複数のブロックにまたがるのが連動で、一つのブロックで地震があると、破壊が伝播して隣ブロックも破壊されることがあるのです。

例えば、一八五四年には、安政東海地震の三〇時間後に安政南海地震が起きました(図22)。また、一九四四年の昭和東南海地震の二年後の一九四六年に昭和南海地震が起きました。このように連動は、ほぼ同時に数年のインターバルで起きるのです。古い地震の状況は、古文書記録だけではよく分かりません。そこで、いろいろな地域の遺跡に見られる液状化の跡も、古地震の重要な情報となります。とにかく、南海トラフで起こる海溝型地震の震源域は、様々なパターンがあるのです。

歴史記録の中で最大の地震は、一七〇七年の宝永地震で、西日本一帯が津波に襲われまし

た(図23)。

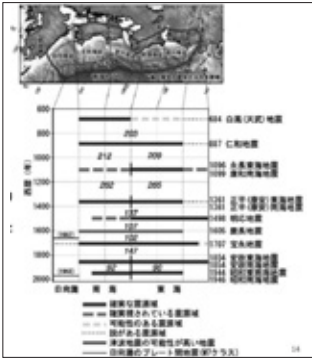


図21 南海トラフで発生する地震の多様性／地震調査研究推進本部(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

安政東海地震と、その三二時間後の安政南海地震には時間差がありますが、この宝永地震の場合は一気に津波が起きたのです。また、発生直後に富士山の直下で地震があり、四九日後に富士山が爆発するという展開になってくるのですが、そういう意味で、宝永地震のような地震が起きると大変なことになるわけです。

二〇一一年十二月二十七日の段階で、南海トラフの様々な地域から津波堆積物が報告されており、特に和歌山から高知にかけては、

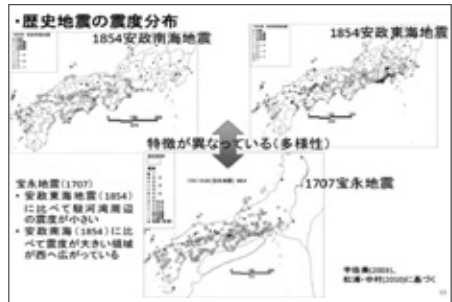


図22 歴史地震の震度分布／地震調査研究推進本部(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

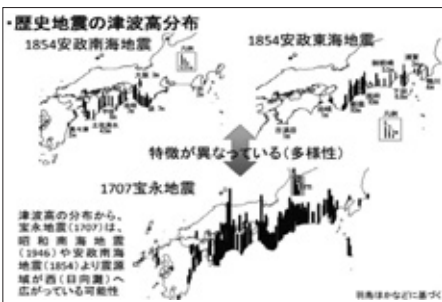


図23 歴史地震の津波高分布／地震調査研究推進本部(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

高知大学の岡村眞さんと松岡裕美さんのグループが重要な仕事をしています(図24)。

静岡県に関して は、西部は主に産業技術総合研究所の藤原治さんたちが、津波堆積物を調査しています。古文書や遺跡に見られる液状化の跡も、データとして収集しています。遺跡は考古学的資料が豊富で、液状化がいつ起きたのかを詳しく調べることができま

きます。これらの情報から得られた重要な知見

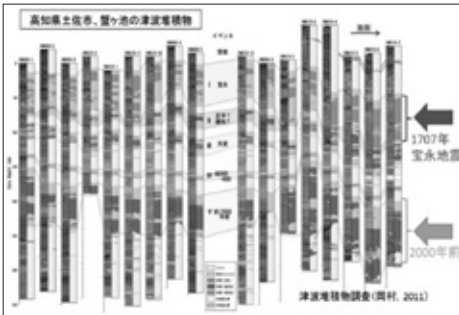


図25 地形・地質学的情報(津波堆積物)／地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

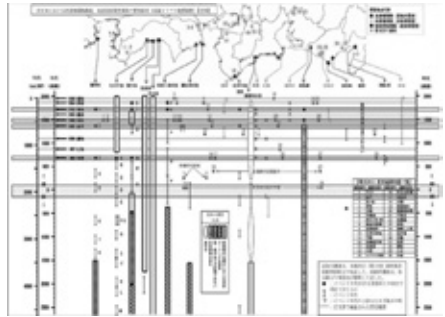


図24 各種調査による南海トラフでの過去地震の発生履歴／内閣府 (http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/chukan_matome.pdf)

は、次のようになりま す。高知県土佐市の蟹ヶ池から、一七〇七年の宝永地震の津波堆積物が見つかりました。ここからは二〇〇年前の津波堆積物も見つかり、それが宝永地震の津波堆積物よりも厚いので、この津波は宝永地震を超える規模だった可能性がある、ということになったのです(図25)。そのため、宝永地震の津波よりも、さらに巨大な津波を発生させる地震を想定することになり、今年出された評価では、南海トラフ全域で、マグニチュード八から九クラスの地震の、三〇年以内の発生確率が六〇〜七〇パーセント、一方、マグニチュード九クラスの地震の発生頻度は、一〇〇年〜二〇〇年の間隔で繰り返し起きている大地震に比べ、一桁以上低いとされました(図26)。

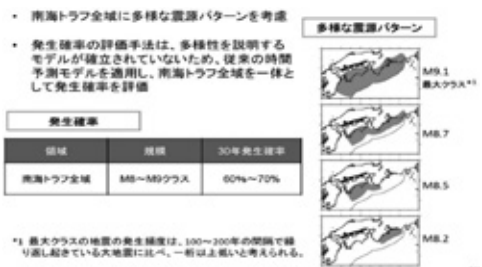


図26 南海トラフで次に発生する地震の発生確率／地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/nankai_gaiyou.pdf)

※今後に向けて

南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）の最後には、次の通りに提言されています。「過去に起きた地震像を明らかにする為の調査研究を推進する。すなわち、過去地震の痕跡データである津波堆積物・歴史記録等の網羅的な収集・シミュレーションとの比較による、過去地震の地震像把握等を行うこと。これが、地震の多様性を考慮したひずみの蓄積と、地震の発生を結びつける物理的なモデルの構築の一助となつて、長期評価の信頼性の向上に役立つのです。」

この課題を踏まえて、現在、日本の各地で津波堆積物や、古地震の調査が活発に行われているのです。したがって、数年後見直しをする時に、二〇一二年に出た津波の最大規模等の数値が下がることになるかもしれません。

静岡・清水平野の津波堆積物調査の結果

※津波堆積物の認定について

いよいよ津波堆積物についてお話しします。まずは、その認定の難しさについて説明します。

二〇一一年三月十一日の津波堆積物は認定が簡単です。見ただけで分かります。ところが、過去の津波堆積物の認

定はとても大変です。どうして大変なのかを図でお示します。図27左は先ほどの仙台平野ですが、地表の年代は0年前です。そのすぐ下に二〇一一年三月十一日の津波堆積物があり、ここを一メートルも掘れば、十和田a火山灰や、貞観津波堆積物が出てきます。ところが、南海トラフ沿いの沿岸の低地の地面は乱されています。

例えば、図27右は、静岡平野の大谷低地という所ですが、三メートルも盛り土がしてあります。そのため、ボーリングコア試料を観察する際には、盛り土とその下の地層の境界を認定しなければなりません。

この写真は、静岡市の事業で掘った縦穴を観察したのですが、このくらいの大きさの断面だと、盛り土とその下の地層の境界がよく分かりません。しかし、縦穴を掘るのに数十万円かかります。私たちの調査では予算が潤沢にあるわけではないので、ボーリングコ



図27 日本海溝沿いの低地と南海トラフ沿いの低地の人間攪拌の差(左-仙台平野、右-大谷低地)

アで地層を掘るため、その直径はせいぜい七〜八センチメートルです。そのため、盛り土とその下の地層の境界を認定するには注意が必要となります。

つまり、南海トラフ沿いの沿岸の厄介な点は、古くから人が住んでおり、地表を攪拌していることです。一方、仙台平野は低地に湿地が広がり、そのような所に人はそれほど住んでいません。その上、東北地方の場合には、寒冷なため人口も多くなり、そのために土地改変がそれほど進んでいません。

さらに、日本海溝沿いの東北地方や、北海道東海岸の低地の堆積物からは、たくさん火山灰層が見つかります。これらの火山灰層の積もった年代は詳しく分かっているのです、火山灰層と津波堆積物の上下関係から、津波堆積物の堆積した年代を推定できるのです。ところが、



図28 日本の活火山分布／気象庁HP

図28のとおり、南海トラフ沿いに火山はありません。九州にはあるのですが、南海トラフの津波堆積物の年代決定に役立つ火山灰層はほとんどありません。

一方、古文書記録に関しては、長らく日本の都は京都・奈良にありましたから、南海トラフ沿いの地域では、古文書記録は非常に豊富に残されています。

まとめると、南海トラフ沿いの低地では、津波堆積物を含む地層は、人が乱してしまう上に、火山灰層が極くわずかしかないのです、非常に調査がしにくい。一方、日本海溝沿いの東北から北海道の太平洋沿岸は、古文書記録は少ないのですが、人為攪拌は少なく、火山灰層も多いので、津波堆積物の調査がしやすいのです。

さらにもう一つ、津波堆積物の認定を難しくするものがあります。それは高潮です。海からの強い流れは、津波だけではなく、高潮もあるのです。実は、高潮の堆積物と津波の堆積物の識別は非常に難しいのです。

↑ 静岡県内の津波堆積物調査

なぜ私が静岡県内の津波堆積物を調査することになったのかというと、私が静岡市に住み、しかも海に近い所に住んでいるからです。また、静岡県西部では、高知大学のグルー

プや、産業技術総合研究所の研究者が調査していました。静岡県の多くの地域は調査されていませんでした。

図29は二年前に作ったスライドですが、沼津から御前崎にかけて、浮島ヶ原のデータを除くと、津波堆積物の調査のデータはほとんどありません。この状況を解消しようと思いい、調査を始めたわけです。

図30は清水平野の沿岸部ですが、お寺で掘削しました。お寺は他の場所よりも土地改変

がされていない上に、いつからお寺があるのかといった情報も得られるため、調査しやすいのです。それに、ボーリ



図30 ボーリングコアの掘削

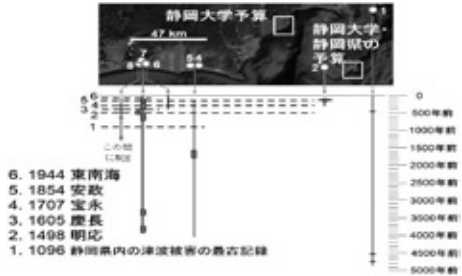


図29 静岡県内の津波堆積物調査(静岡県防災・原子力学術会議 2011年度第2回津波対策分科会資料) / 小松原ほか(2006)、藤原ほか(2008)、上写真(Google Earth)

ング掘削の同意もとりやすいです。

ボーリングコアの掘削だけでなく、トレンチ調査を行うこともあります。

図31は、清水平野の沿岸部の、安政東海地震で隆起したことが分かっている場所で行ったトレンチ調査の様子です。

また図32は、伊豆半島の下田周辺の海食洞における、隆起した固着動物の調査ですが、脚立を使って調査しました。こんな具合にいろいろな調査をしております。

十 安政東海地震の調査

静岡県は今まで、安政東海地震の津波を想定して、津波対策を行ってきました。

古文書記録によると、静岡の場合は五メートル、沼津の場合は三〜四メートルの津波が押し寄せました(図33)。この安政東海地震に伴う地殻変動は、地震防災の観点からとても重要なので調査しております。



図32 野外調査



図31 トレンチ調査

図34は、安政東海地震直後の清水平野の沿岸の様子を記した古文書ですが、中央図、巴川の両岸は火災で焼け落ちました。そして、折戸湾沿岸の黒く描かれている所は、地震によって隆起して浅くなった所です。現在の清水区の総合運動場も、安政東海地震で隆起した場所です。

図34右は総合運動場で掘削したボーリングコアです。下はざらざらした砂ですが、矢印のところ物凄く明瞭な境界で粘土に変わります。

一般的に、粗い粒の堆積物から細かい粒の堆積物に変わるののは、流れが弱くなっていく時に起きます。そのような時は粒が徐々に小さくなるので、このような明瞭な境界、つまり、いきなり変わるといふのは非常に珍しいのです。そして、砂層と粘土層の年代を調べたところ、その境界が安政東海地震のタイミングに当たることが分かりました。

地元住民から聞くと、ここは埋め立て前は、海水がしばしば入ってくる



図33 安政東海地震の津波の高さ／羽鳥(1977)。左上写真(Google Earth)

湿地帯だったそうです。つまり、ボーリングコアで採取した粘土層は、安政東海地震の時に隆起してできた泥地に当たるわけです。このように、古文書記録と地層の記録との整合性が取れてくると、過去の事象を正確に復元できるわけです。

清水平野の調査

清水平野は低地で、

二〜三メートルの標高の所が広がっています。ここは上の方が砂礫ですが、掘るとすぐに海の貝の化石が出てくる地層になっています(図35)。しかも、その海の貝の化石が出てくる位置は、現在の海面より高いのです。ここは安政東海地震の時に隆起している、つまり駿河湾で海溝型地震が起きた時に隆起するのです。そして、次の地震までの間は



図34 安政東海地震の隆起に伴う環境変動で形成された堆積物の境界／左:As published (1891)、中:As drawn(1854)、(just after Ansei-Tokai earthquake)

沈降します。地震性隆起と地震間の沈降を数千年間で合計すると、隆起量の方が上回ります。

さて、内湾の貝の化石を含む泥の堆積物の間には、非常に粗粒な砂層が挟まれており、それらは津波堆積物の特徴を持っています。海の中で溜まった津波堆積物なのです。

今回の二〇一一年三月十一日についても、いろいろな湾で東海大学の先生たちが調べているのですが、通常は泥が溜まる海底に、数十センチの厚さの津波堆積物と推定されるものが見つかっています。現在までに我々の得たデータによると、清水平野では、約六一〇〇年～五六〇〇年前、五六〇〇年～五四〇〇年前、四二〇〇年～四一〇〇年前、三六〇〇年～三四〇〇年前に、少なくとも四回の津波があったと推定されます。

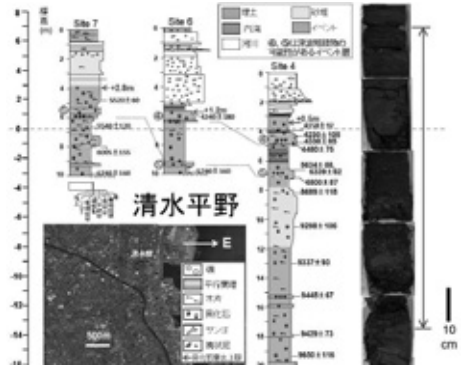


図35 清水平野の津波堆積物／左上写真(Google Earth)

静岡平野の調査

図36は静岡平野の大谷低地です。私が勤務しているのが右端の静岡大学ですが、私が津波堆積物の調査を大谷低地でやることにした理由は、息子が通っている小学校が近くにあるからです。

小学校は海拔一一メートルですが、海岸からの距離が六三六メートルです。このあたりは静岡市が砂丘のような所を平らにし、一〇メートルの所を七メートルにならし、区画整理をして家を沢山作つたため住民が増えました。

小学校の保護者会で、地域住民が巨大津波に対して神経質になっていた状況を知り、ここで津波堆積物の調査をしなければ悔いを残すに違いないと思い、静岡大学の予算も緊急についたので調査を行いました。

大谷放水路

図37は大谷の放水路です。一九七〇年くらいに工事が行われました。

過去に清水で巴川の氾

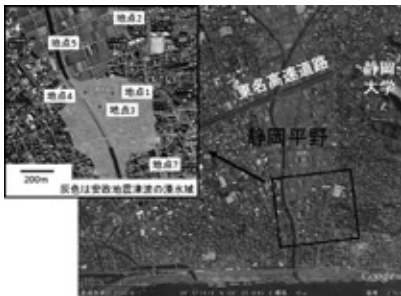


図36 静岡平野での津波堆積物調査／(Google Earth)

濫した七夕豪雨が、今後そのようなことがないように、巴川の水の一部をこの放水路に流すという計画を、県庁が立てました。しかし、地域住民の強い反対があったため、山から土砂を持ってきて、放水路の周辺の土地を二メートルも盛り土したのです。ですから、昔このあたりは五メートル程度の標高だったのです。

一方、図37左の海岸付近には一〇メートルの等高線があります。これを平らにして七メートルにしてしまい、そこにたくさんさんの家が建ったのです。

私たちは、静岡市区画整理事務所からボーリングコアの掘削を開始しました。その結果、非常に粒が揃っていて泥が入っていない砂層を見つけました(図38)。この砂層は他の地点にも出ており、砂層を構成する砂粒は海岸の砂によく似ています。海岸の砂は泥がほとんど入っていないし、砂粒は丸みを帯びているものが多いです(図39)。



図37 大谷川放水路

図40は珪藻のデータです。珪藻というのは植物プランクトンです。海に住んでいる珪藻や、海水と淡水が混じっている所を好む種があります。

津波堆積物と推定される砂層の下では、混じっている所を好む種が多いのですが、それよりも上からはなくなり、淡水性の珪藻が多くなります。つまり、津波堆積物の堆積した頃に地面が隆起したと解釈されるのです。

安政東海地震の時には、この辺りは二メートルくらい上がったと推定されています。一方、高潮の場合には隆

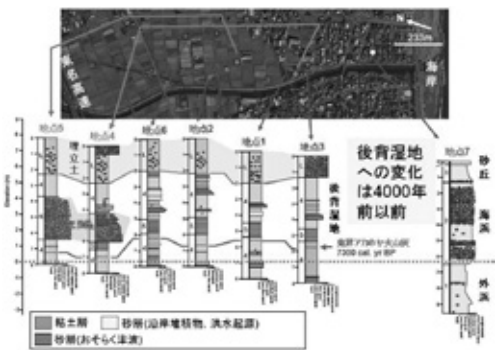


図38 堆積環境／上写真(Google Earth)

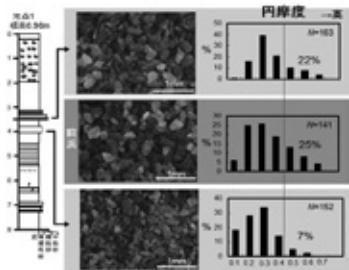


図39 砂粒子の円摩度の比較

起しません。これらのことから、非常に粒が揃っていて泥が入っていない砂層は、津波堆積物と考えるのが妥当なので

す。
さて、津波堆積物は、現在の標高で四〇五メートルまで分布しますが、その規模を評価するには、

当時の標高に換算し直さなければいけません。地殻変動の影響を、どうやって評価するかが難しいのです。

今のところ、静岡平野からは三枚の推定津波堆積物が検出され、それらの年代は、西暦一〇〇〇年とか、三五六五年〜三四八六年前、四〇〇〇年前と推定されます。この結果は、『ザ・ホロシシ（The Holocene）』という国際誌に公表しました。

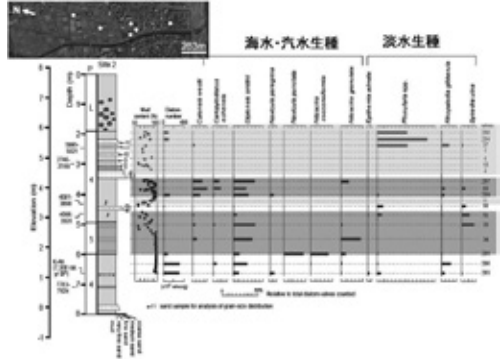


図40 珪藻の群集解析／左上写真(Google Earth)

下田・南伊豆周辺の津波堆積物・古地震調査の結果

経済のグローバル化が進んでいるため、世界各地の会社では、日本の製造業や工場と取引する際には、取引先の地震や津波への防災対策の確認は重要です。そういう観点に立つと、津波堆積物の調査結果を英語の論文で発信する必要があります。そのため英語の論文を準備していたのですが、執筆のスケジュールが二〇一二年に大幅に変わってしまいました。

駿河湾〜紀伊半島沖の大きく域十分岐断層を考慮すると、下田市や南伊豆町の周辺は、最大二五メートルの高さの津波に襲われるという想定を国が公表したからです。

下田・南伊豆での調査

今までは安政東海地震を想定していたのですが、新たな想定では、場所によって津波高はかなり違ってしまいました。特に変わったのが南伊豆町・下田市周辺です(図41)。

県の担当者から、「波高が急に大きくなったため、観光に影響が出ている。このような状況だが、南伊豆町・下田市周辺では、津波堆積物の調査は全く行われていないので、県と共同で調査してほしい」という要望があり、早速共同

研究に着手しました。

まず、南伊豆町のやや内陸部で調査しました(図42)。そして、今年(二〇一三年)はより海岸に近い場所
で調査を行います
が、このあたりは、
二〇メートル級の

津波が来た時に逃げる場所がないと、住民が困っている所です。

図43は下田の調査ですが、右図中央に伊豆急下田駅があり、安政東海地震の時に津波が押し寄せています。

去年(二〇一二年)の調査は、国が想定

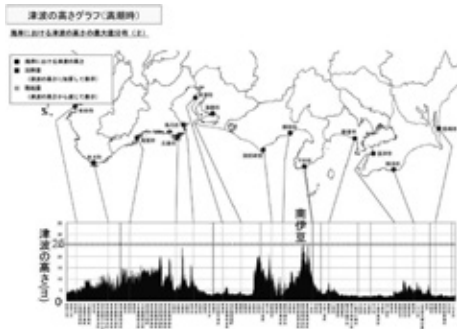


図41 津波の高さグラフ 駿河湾～紀伊半島沖の大すべり域十分岐断面

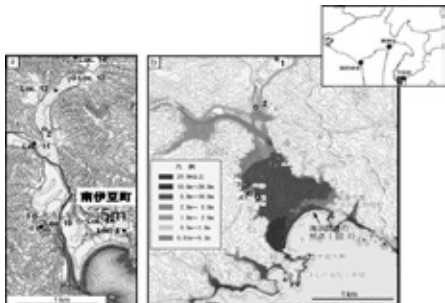


図42 南伊豆町の津波浸水域(左:レベル1 安政東海地震の津波、右:レベル2 2012年内閣府)／羽鳥(1977)、太田ほか(1986)

した最大規模の津波が、過去数千年の間に発生したことがあるか否かを調べるのが目的だったので、比較的内陸で調査を行いました。今年(二〇一三年)は海岸の市街地でやります。そして、この南伊豆・

下田の両地域共に、調査した結果を柱状図(図44、45)で示しますが、津波堆積物は今のところ見つかっておりません。

安政東海地震に伴う津波の運搬した堆積物も見つからなかった理由は、

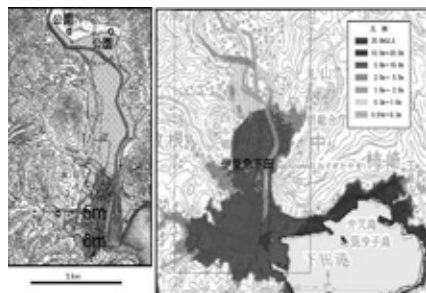


図43 下田市での完新統の津波堆積物の調査(左:レベル1 安政東海地震の津波、右:レベル2 2012年内閣府)



図44 南伊豆町での調査結果(暦年代補正には、下田産の海生貝類の¹⁴C年代測定から得られた $\Delta R = 109$ (Yoneda et al. 2000)を使用)／北村ほか「静岡大学地球科学研究報告」40, 1-12 (2013)

津波の直後に堆積物があつたとしても、復旧のため速やかに除去されてしまったからです。

さて、下田市・南伊豆町の海岸低地では津波堆積物が検出されなかつたという結果は、私と静岡県庁の担当者である板坂さんたちとの共著で、今年（二〇一三

年）の静岡大学地球科学研究報告に公表しました。これは私のホームページでも見ることができます。とにかく、下田市・南伊豆町にとっては非常にウェルカムな情報ですが、実は、長期的な歴史を調べると、別の厄介な自然災害のあつた事が明らかになってきました。それは地震です。

†伊豆半島の古地震

一九七四年の伊豆半島沖地震は、石廊崎断層の活動によります（図46）。この断層は水平方向にずれるタイプですが、垂直にも若干変動していて、一〇センチくらい隆起し

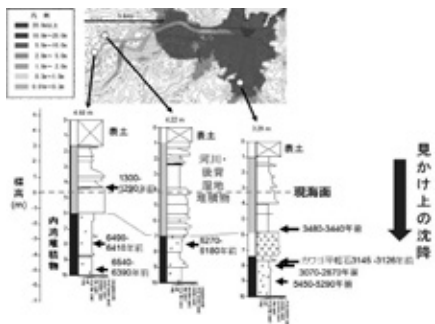


図45 下田市での調査結果

ました。一方、石廊崎断層の北には上賀茂断層があり、一七二九年に活動した可能性が指摘されています。

ところで、一九三四年に福富さんという研究者が、下田湾の弁天島の隆起貝層を報告しています（図47）。左図上の左端に人が立っており、その手前に石垣があります。この枠を拡大すると、二枚貝のケガキの死んだ殻が写っています（図47右）。

潮間帯、だいたい平均海面と同じくらいのところの岩場に張り付いている二枚貝が、今は潮が満ちても海水がかからないくらいの高さにくっついていきます（図48）。

福富さんが報告した頃は、年代測定ができない時代だったため、一七〇三年の元禄地震で隆起したと考えました。

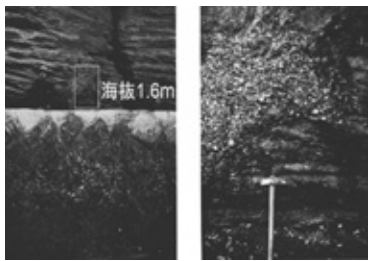


図47 弁天島のケガキ遺骸群(1280±75 yBP)/太田ほか(1986)、福富(1934)

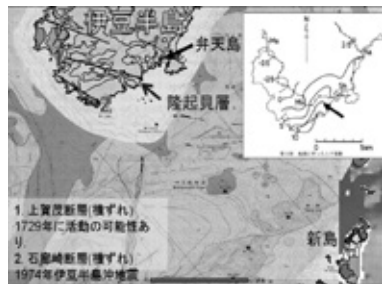


図46 伊豆半島南端の古地震

その後、石橋克彦さんたちが、14C年代（放射性炭素年代）を測定し、元禄地震よりも古い化石だったことが判ったのですが、古地震との関係は分からないままでした。

石橋さんは、東海地震はいつ来てもおかしくはないという説を出した方です。石橋さんたちが下田周辺の隆起貝層を調査した理由ですが、下田周辺は相模湾に面しているので、その周辺で起きた地震によって津波が発生した場合には、首都圏の鎌倉周辺に津波が襲来するためです。しかし、調査は一九八六年以降はほとんど行われていませんでした。

次に研究を再開したのは私たちなのですが、弁天島に行き、離水したケガキを探しましたがありませんでした。先日、石橋さんと一緒にした時に、ケガキがなくなっている事を話したところ、石橋さんたちは化石の一部を採取しただけとのことでした。

今の年代測定の技術は、石橋さんたちの頃よりも格段にレベルアップしていますが、弁天島に関してはもう化石が残っていないので、この隆起についてははっきりしたことは分からなくなっていました。

さて、先ほどケガキの話をしました。こういう波打ち際の所は、ちょっとした高さの違いでも環境が物凄く変わります。引き潮近くになってようやく干出する所、満潮近

くになって水没する所、潮が満ちた状態でもよく波がかかる所などがあります。

図48のように、平均海面くらの所にはケ

ガキがくっついていて、それより上の所にフジツボがいます。平均海面よりやや下に、ヤッコカンザシというゴカイが固着しています。ただし、波が凄く強い所では固着していません。これらの無脊椎動物は、幼生時には海水中を漂い、成長に適した場所が見つかったら固着するのですが、波が強いと固着できないのです。

一方、下田湾のような波が比較的穏やかな所だと固着でき、しかもそういう所はエサも採りやすい。固着する無脊椎動物は帯状に分布するので、それを利用すると、離水した固着動物の種類から当時の海面の高さが分かり、現在の海面の高さと比較することでどのくらい隆起した



図48 現生の潮間帯の固着動物の帯状分布



図49 吉佐美の海食洞/左上写真(Google Earth)

のかが分かります。こういうところで化石は大変役に立ちます。

さて、図49は下田市南西部の吉佐美の海食洞です。石橋さんたちは、この海食洞の隣にある、全長四〇メートルに及ぶ大きな海食洞内の隆起貝層を調査しました。

その海食洞は暗すぎて調査できなかつたので、私たちは隣の小さい海食洞内の隆起貝層を調査したのです。そこには、海面から高さ二・六メートルまで白いものがくつついています（図50）。

上の方は白い塊になっていますが（図中a図）、スライズにして顕微鏡で見るとフジツボが入っているのが分かります（図中b図）。下に行くほど化石の保存状態は良くなります（図51）。つまり、この場所は隆起しているので、上に

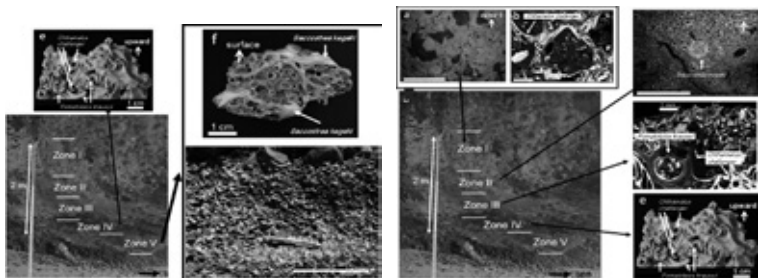


図51 吉佐美の隆起貝層

図50 吉佐美の隆起貝層

行くほど古い年代の固着動物なのです。

＋化石の年代測定

これらの固着動物の化石の年代測定を行います。その結果が図52で、横軸に年代をとります。山のようなこの形は、一つの化石試料の年代値の範囲を示し、高いところほどその年代である確率が高くなります。

図を見ると、同じ年代値の範囲をとる試料が固まっています。これは、突発的な隆起により、固着動物が一斉に死んで化石になったためと考えられます。そのように考えると、西暦五〇〇年頃、一〇〇〇年頃、一五〇〇年頃に突発的な隆起があったと推定されます。

現在の下田周辺は、水準測量やGPSによって、ゆっくりと沈降していることが分かっています。この沈降速度が過去も同じ速度と仮定し、年代の誤差などを考慮すると、最新の隆起量は一・九ㄱ

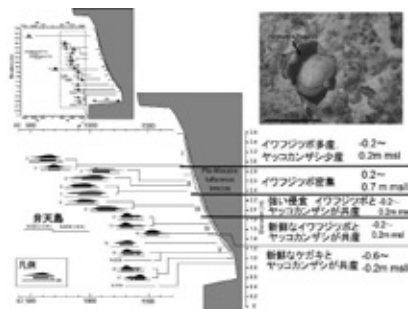


図52 化石の年代測定

二・二メートルと計算されます。二メートル近くも一気に上る現象は、地震性隆起以外には考えられません。したがってこの地域では、一五〇〇年前以降、三回の地震性隆起があり、最後の事象から五〇〇年経過しているのです。これらの地震を起こした断層は陸上には見られませんので、おそらく下田周辺の沖合に断層があるのでしょう。

＋伊豆マイクロプレート

今日の話の中で、南海トラフの東端に関する新しい考えを紹介しました。GPSのデータを元に西村さんたちは、伊豆のブロックが周囲のブロックとは違う動き方をしていることから、伊豆マイクロプレートという考えを出しています(図53)。

マイクロプレートの南限の境界は、横ずれの断層です。下田周辺を隆起させた海底活断層は、伊豆マイクロプレートの南限よりも、下田に近い所にある逆断層です。

南伊豆町・下田市に関し

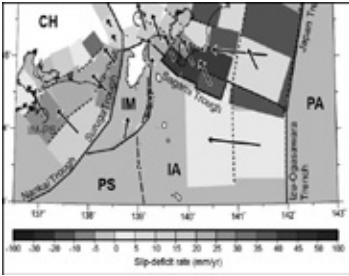


図53 伊豆マイクロプレート／Nishimura (2011)

では、少なくとも二〇一二年に国が公表したような巨大津波は、過去数千年間に発生したことはないようです。むしろ、下田周辺を一気に二メートル近く隆起させる地震のほうが、憂慮すべき問題だと思います。

沼津市西部・浮島ヶ原の津波堆積物

今日のお話の最後に、沼津市の浮島ヶ原における津波堆積物の調査をご紹介します。

産業技術総合研究所の藤原治さんたちが、二〇〇七年に論文を公表しております。そのタイトルは「静岡県中部浮島ヶ原の完新統に記録された環境変動と地震沈降」、雑誌名は『活断層・古地震研究報告』です。この論文のPDFは、ホームページからダウンロードできます。

浮島ヶ原の幾つかの箇所、ボーリングコアを掘削しました(図54右

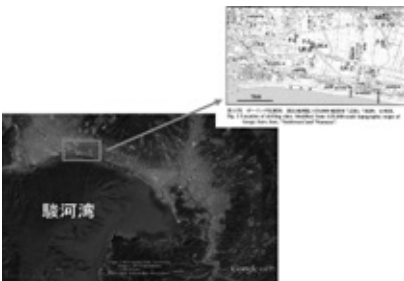


図54 静岡県中部浮島ヶ原の完新統に記録された環境変動と地震沈降／藤原ほか(2007)、『活断層・古地震研究報告』No. 7, p. 91-118. 左写真(Google Earth)

上)。柱状図(図55)に記された矢印は、津波堆積物の可能性のある層です。また、星に似た見慣れない記号もありますが、これは矢印で表したかったのですが、津波堆積物と推定される層が薄すぎてこのような形になったものです。複数のボーリングコアから、津波堆積物の可能性のある層が見つかっています。図中の数字は西暦を表します。

まとめ

現在まで得られたデータをまとめると、清水平野と静岡平野からは、今から三四〇〇年〜三五〇〇年前の津波堆積物が見つかっており、これは浜松平野でも見つかっていました(図56)。したがって、過去数千年間では、この時の津波が一番大きかったと思います。

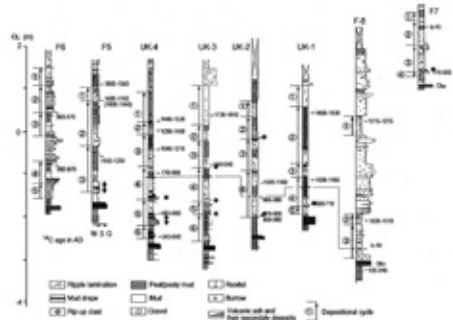


図55 津波堆積物の可能性のある砂・砂礫層 数字は西暦を表す／藤原ほか(2007)

それから、高知県の蟹ヶ池で見つかった、宝永津波よりも規模が大きかった可能性があると、二〇〇年前の津波堆積物ですが、今のところ静岡平野から清水平野、伊豆半島では見つかっていません。もっと調べなければなりません。高知では規模が大きくても、駿河湾での規模はそれほどではなかったのかもしれない。

私たちの調査では、伊豆半島南部で過去一五〇〇年間に三回地震があったと推定されます。こういった情報をより詳しく集めていくことで、今後の国の見直しの基礎データになるのです。ただし、これらは論文になっていなければならぬので、早急に論文にしようとして努力しています。

おわりに

最後に、静岡大学の防災総合センターの取組みについて

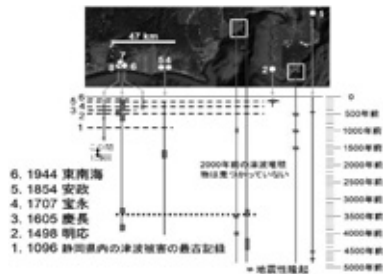


図56 静岡県内の津波堆積物／小松原ほか(2006)、藤原ほか(2008)、上写真(Google Earth)

ご紹介します。前回の原田さんの講演でもご紹介されたかもしれませんが、沼津市周辺の津波堆積物や古地震の研究というのは、実際にはあまりやられていないという状況にあります。その一番の理由は、研究者が少ないことです。静岡県に関しては、産業技術総合研究所の藤原治さんと私の二人で担当しているようなもので、なかなか進みません。

特に骨が折れるのは、ボーリングコアを掘る際の地権者との交渉です。掘るのに適当な場所を見つけても、その土地の所有者を探すのにかなり時間がかかるのです。遠方になってくると、その分だけコストパフォーマンスが悪くなります。

そういった観点からすると、静岡大学防災総合センターでは「ふじのくに防災フェロー養成講座」を開講していますので、履修者になって頂いて、このように沼津市周辺の所を調査して頂ける方がいらっしゃったら、作業が非常に進むかと考えています。

現在、静岡市では一人の方が防災フェローをやっておりまして、その方と一緒に、大谷地区の津波堆積物の調査を行っています。静岡県東部の方にも、「ふじのくに防災フェロー養成講座」を利用して頂けると、この周辺の情報を得

ることができません。

それから、現在は津波ばかりが注目されていますが、今まで見落とされてきたような自然災害、例えば伊豆半島南部の古地震の話がありました。そういった事象が出てくると、むしろそちらの事象の方が重要で、その地域の防災に役に立つと思います。ぜひとも、「ふじのくに防災フェロー養成講座」をご利用いただけたらと思います。

質疑応答

質問——地層で年代を特定するには、スケールのような元になる物がないと決められないかと思えます。堆積物の場所や時代によって違うからだと思いますが、そのスケールをどうやって作るのですか。

また、図52を見ると誤差範囲がありますが、それが均一ではなく、規則性が見られません。プラスマイナスの誤差は、古くなるほど大きくなるのではと想像つきますが、この場合は全く誤差の幅に規則性がありません。これはどのような理由ですか。

北村——まず、基本的に年代を決めるやり方としては、14 C年代、放射性炭素年代というものが基準になります。

完新世、つまり今回対象にしているのが数千年間の地層になりますので、その地層で火山灰の年代をどうやって決めるのかというと、それも放射性炭素年代を使っています。

年代が分かっている火山灰層が見つければ、それで地層に年代を入れられます。分からない場合には、地層の中に含まれている貝や木片、一番良いのは植物の葉っぱですが、そのような物を採取し、放射性炭素年代測定でその年代を決めます。

後はその得られた年代間は、基本的に堆積物が変わっていない限り、堆積速度一定とみなしています。今のところそれ以外の方法はありませんので、そのように年代を割り出しています。

年代の誤差のばらつきですが、それは非常に鋭い質問で、それを説明するのは非常に難しいです。

図52の山の形は年代の確率分布ですが、14Cを基準に決めるので厄介です。例えば平均点五〇点の試験で、五五点の人や四〇点の人がどのくらいの割合でいるのかということとは、基本的には正規分布という対照な分布になります。しかし14Cの場合には測定値に数字の誤差があり、これを暦年代に直す時に凄く厄介なのです。なぜなら14Cの生成量が年によって違うからです。14Cの生成量は、太陽活動

や地球磁場の影響を受けるので毎年一定ではありません。暦年代に直す時には、14Cの生成量で補正するので、誤差の大きさが変わるので。

質問——高さが高いほどその年代だという確率が高いのは、そこで中央に集まっているからということですか？

北村——そうです。この場合だと、14Cの年々の変化があまり無かった時には、比較的富士山のようなきれいな山を作るため、年代を精度よく決められるのですが、おっしゃるように調子の悪い時には、年代誤差が広くなるという場合が出てきます。

質問——有機物が無ければもつといいのですか。葉っぱなどがあるときやすいということはありますか。

北村——木の場合はセルロースで作られているので、なかなか分解しません。そのため、津波堆積物など含めて、どこか別の所にあつた物が洗い出されて出てきてしまうのです。その点、葉っぱの場合は一度堆積物に入り、それが洗い出されて出てくるとバラバラになるので良いのです。葉っぱが出てきたのなら、それはそこに溜まって、そのままだったという証拠になります。そのためできる限り葉っぱとか甲虫、カブトムシとかオサムシなど、硬い殻をもつた虫の羽を使うと、その後動いていないということが言えるので、

リワーク（再堆積）していかないということになるのです。
そういう物から得られる年代が一番良いのです。