

地質調査

2015

第1号

(通巻142号)

Japan Geotechnical Consultants Association

2011 Tohoku Earthquake Tsunami

Survey Group

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言

西南日本沿岸の巨大津波痕跡から
将来を考える

高知大学 総合研究センター 特任教授 岡村 眞

小特集 津波堆積物

- » 津波堆積物から学ぶべきこと
.....平川 一臣
- » 地質記録と津波浸水シミュレーション
による貞観地震の復元
.....澤井 祐紀
- » 1960年チリ地震および2004年
スマトラ沖地震による津波堆積物
.....鎌滝 孝信
- » 津波堆積物調査事例
.....原口 強
- » 延宝5年(1677)房総沖津波の経験は
元禄16年(1703)関東地震の
津波死者を減らすのに役立ったか?
.....都司 嘉宣
- » 津波防災の現状と取り組み
.....高山 知司

教養読本

- » 防災文化を継承・発展させる教育
.....河東 眞澄

163 km

巻頭言	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 西南日本沿岸の巨大津波痕跡から将来を考える 高知大学 総合研究センター 特任教授 岡村 眞 …… 1
小特集	<ul style="list-style-type: none"> ■ 津波堆積物 ≫ 津波堆積物から学ぶべきこと 平川 一臣 ……3 ≫ 地質記録と津波浸水シミュレーションによる 貞観地震の復元 澤井 祐紀 ……11 ≫ 1960年チリ地震および2004年 スマトラ沖地震による津波堆積物 鎌滝 孝信 ……17 ≫ 津波堆積物調査事例 原口 強 ……21 ≫ 延宝5年(1677)房総沖地震津波の経験は 元禄16年(1703)関東地震の津波死者を 減らすのに役立ったか? 都司 嘉宣 ……28 ≫ 津波防災の現状と取り組み 高山 知司 ……35 ≫ 防災文化を継承・発展させる教育 河東 眞澄 ……41
教養読本	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 東日本大震災により被災した仙台市の 盛土造成宅地の復旧について 三嶋 昭二 ……45
私の経験した現場	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 新潟県新潟市 新潟県立自然科学館 平野 吉彦 ……51
各地の博物館巡り	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 西の京やまぐち「湯田温泉」 森岡 研三 ……53
大地の恵み	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 石垣島の地形・地質(沖縄県) 町田 宗一 ……57
各地の残すべき地形・地質	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 石の俗称辞典 第2版 ……59 ≫ 日本の土 地質学が明かす黒土と縄文文化 ……60 ≫ 地盤情報の利活用促進のためのガイドブック ……61
書評	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 「地質と調査 全面カラー版」Webサイトのご案内 ……62
書籍紹介	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 平成27年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士(一次)】 ……63 ≫ 平成27年度 道路防災点検技術講習会 開催案内 ……63 ≫ 平成26年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者22名が決定 ……64 ≫ 地質調査業務の積算基準について -国土交通省 職種区分「普通作業員」の見直しと 全地連の積算基準書(赤本)の対応- ……64 ≫ 平成26年度 第3四半期 地質調査業務事業量 616億円 ……65 ≫ 平成27年度研修「地質調査」開催案内 ……66
会告	

地質調査 '15 第2号 (通巻143号) 内容 (予定) 平成27年8月発行

特定テーマ

新幹線

新幹線計画の概要

新幹線建設の歴史と経緯

「榛名トンネル」における地質調査

「八甲田トンネル」地域における地質

難工事であった「飯山トンネル」

リニア中央新幹線建設計画

「新神戸駅」について

*上記のタイトルは、執筆者により変更することがあります。

西南日本沿岸の巨大津波痕跡から 将来を考える

おかむら まこと*
岡村 眞*

Key Word 巨大地震, 南海トラフ, 津波堆積物, 沿岸湖沼, 地震津波減災対応

沿岸湖沼に残された津波痕跡

2011年の東北地方太平洋沖地震は、東北日本の沖合に横たわる日本海溝を震源域とした地震であるが、同様に西日本の沖合には南海トラフと呼ばれる海溝があり、そこを震源域とした巨大地震が繰り返し発生してきた。南海トラフ沿いの地震は、少なくとも過去数千万年間にわたって活動を続け、短期的には西南日本に大きな揺れと津波をもたらすとともに、長期的には南九州、四国、紀伊半島などの大地を造ってきた基本プロセスでもある。

南海トラフ沿いの地震は、世界で最も長期にわたる歴史記録が知られる地震であり、西暦684年の天武南海地震から西暦1946年の昭和南海地震まで、9回の地震が記録されている。将来の巨大地震そして巨大津波に備えるためには、過去100年程度の観測データでは不十分なことは、今回の東北の地震によって広く認識されることとなった。一方、この1300年間の記録が存在することは、南海トラフ沿いの地震を理解する上で貴重な情報源となっている。その上でこれよりもさらに古い過去数千年間の地震の履歴を明らかにするために、南海トラフ沿いの沿岸湖沼に残された津波堆積物の研究を行ってきた。千年に一度の出来事を「想定外」としないためには、過去数千年間の記録が必要となる。

津波堆積物は津波の痕跡であり、その痕跡は津波によって海底や海岸から陸域に運ばれ遺された砂泥などが主要な構成物となっているが、津波の強い流れによって堆積物が削剥された時間間隙や津波によって集められ再堆積させられた陸上の砂泥や植物片などもその一部となる。我々が沿岸湖

沼を利用するのは、そこが陸上環境の中でも安定した堆積環境を保っている数少ない場所であるからである。数千年間にわたってゆっくりと堆積した池の泥は、その淡水の堆積環境が数千年間にわたって維持されてきたことを証明している。南海トラフ沿いの沿岸域では、毎年数回の割合で大きな台風が襲来しているが、それらをはるかに超える異常な出来事として記録されているもののみを津波堆積物と認定している。陸上環境は一般的に地形の変化が激しく基本的に浸食削剥の場であり、連続的ではなく間欠的な堆積物しか残されない。間欠的な記録のなかに、仮に海から運ばれた砂層がみられたとしても、それが津波であるという証拠にはならない。異常な出来事を見つけるためには、まず通常の安定した堆積物記録を見つける必要がある。沿岸域に位置する湖沼は、その環境を維持してきた容器であり、すぐれた津波の記録計となる。さらに、開発の進んだ西日本の沿岸域では、自由に調査できる場所が限られることも、湖沼を利用する大きな理由である。

津波堆積物の年代は放射性炭素年代測定によって決定する。津波堆積物は基本的には再堆積したのものによって構成されているので、これらを測定試料として用いた場合、津波の発生した年代よりも古い値を示すことが多い。したがって津波砂層の直下もしくは直上の試料も含めて、数多くの測定を行う必要がある。

南海トラフ沿いの沿岸湖沼の津波堆積物の研究によって明らかになったことは、以下のとおりである。まず、南海トラフ沿いの地震は規模に違いがあることが歴史的にも知られているが、湖底の記録に残されているのは比較的大きな津波だけで

*高知大学 総合研究センター 特任教授

ある。この比較的大きな津波は、300年程度の繰り返し間隔で発生している。西暦1707年の宝永地震津波はこの比較的大きな津波のなかでも顕著なもので、数百年から千年に一回の出来事ということがきる。しかしながら宝永地震津波は過去数千年間では最大とはいえず、九州東部では西暦684年の天武地震の津波が、四国では約2000年前の津波の方が一回り大きかった可能性が高い。今後より多くのデータを沿岸域から得ることによって、個々の地震の震源域の広がりをも明らかにする必要があるが、防災という観点からは、現時点のこの結果により、ある程度の見通しをたてることが可能になってきた。

津波堆積物中の古代文化

津波堆積物の調査から、南海トラフ沿いの沿岸域を襲った地震津波の履歴を知ることは可能であるが、それが沿岸域の人々に与えた影響を知ることは難しい。歴史的に残された土佐藩の記録では、1707年の宝永地震の津波により沿岸の集落がごとく「亡所」となったことが記されている。私達の調査で唯一明らかになった考古学的な成果は、高知県須崎市のただす池の約2000年前の津波堆積物の中から土器片を発見したことである。須崎市は歴史的にも繰り返し大きな津波被害を受けてきた地域であるが、すでに約2000年前、弥生の人達がこの地で生活を営み、大きな地震と津波に遭遇していた。弥生の人達が津波に襲われて大きな被害を受けたのか、単に捨てられた土器が津波に運ばれただけなのか知る由もないが、少なくとも私達の祖先が地震や津波と付き合いながら生きてきたことは間違いない。

調査結果と今後の防災対策

地質学が明らかにすることができるのは過去の事実であり、そこから得られた知識を将来にどう生かすのかは、科学ではなく社会の問題である。百年に一回、数百年に一回、そして数千年に一回の地震、津波に私達はどうか備えるべきなのか。数百年に一度の巨大災害を完全に防ぐことは、技術的にはともかく経済的にはほとんど不可能であることは、今回の震災で明らかになった。私たちは10年20年ではなくより長期間の視点を持ち、ハードで防ぐもの、ソフトで対応するものを選択すると

同時に、その優先順位も考えなくてはならない。さらに、ある程度のリスクを背負いつつ生活していくことも覚悟する必要があるだろう。それはつまり私達の生き方の問題であり、今後どのような社会を目指し、どのような街づくりを進めていくのかという長期戦略こそが今必要である。

将来の地震、津波に対する防災対策として、避難訓練や救助体制の整備などが急がれている。もちろんそれらは重要なことであるが、今回の震災で大きな犠牲を生んだ原因は、避難訓練が足りなかったからでも、救助体制が整っていなかったからでもない。まして、水と乾パンがなかったからでもない。3分間も揺れが続く地震は単発の宮城県沖地震などではなく、広い震源域を持つ地震であるということが知られていたら、あるいは数百年に一度仙台平野を埋め尽くすような津波があるということが知られていたら、もっと多くの人々が助かっていたに違いない。

日常生活から少し離れ、数千年、数万年という時間を振り返ってみれば、日本列島は地震と火山によって造られた島であることが容易に理解できる。その中で営まれてきたのが、私たちの生活であり社会であることを今回の震災によって知った。これからの命を長らえるためには、現在の生活基盤生活である日本列島の自然について知り、その自然に謙虚に向き合うことである。今、津波堆積物の研究結果を虚心坦懐に将来の災害に備えるために生かすことができるのか、自然から我々が試されている。

〈参考資料〉

岡村 眞，松岡裕美：「津波堆積物からわかる南海地震の繰り返し」，「科学」vol. 82，pp.0182-0191，2012

津波堆積物から学ぶべきこと

ひらかわ かずおみ*
平川 一臣

K
ey Word

津波堆積物, 東北地方太平洋沖津波, 津波浸水・遡上, 日本海溝, 千島海溝,
日本海東縁, 南海トラフ

1 はじめに

この小特集の企画主旨によれば、本稿は「東日本大震災で生じた津波堆積物に触れ、その特徴や分布について述べた上で、今回の津波によって生じた被害状況と津波堆積物の関係より、国内の他の地域ではどのようなことが起こり得るのか。津波堆積物調査をどのように防災計画に役立てるのか、調査経験より見解を述べる」ことが要請されている。

改めて考えるまでもなく、筆者は、① 東日本大震災で生じた津波堆積物については、ごく限られた地点でしか観察していない（とりわけ、石巻平野以南については一点の観察さえない）、したがって② 津波堆積物の特徴や分布、被害状況との関係などについての言及も困難ないしはほとんど不可能に近いと言わざるを得ない。そもそも、津波堆積物の研究者でさえ東日本大震災で生じた津波堆積物を広範囲にかつ系統的に観察・記載・分析解釈するという視点も調査もきわめて不十分なまま現在に至っているのではないかという感が強い。むしろ、ここでのテーマはたとえば「津波堆積物に関わる調査・研究者が2011.3.11 東北地方太平洋沖津波の挙動から学ぶべきこと」とでもすべきで、その場合、筆者自身の個人的な見解よりも、津波挙動（遡上高や浸水範囲）の調査に携わった関係者が可能な限り多く地域・地点ごとに事実を網羅的に示し、データを集積することが当面なされるべき作業であると確信する。

「津波堆積物調査をどのように防災計画に役立てるのか」についても同じことが言えるだろう。筆者が比較的多くのデータに基づいて主張可能なのは、過去数千年間の津波堆積物に基づけば、「国内の他の地域ではどのようなことが起こり得るのか」という点くらいにすぎない。

以上のような諸点を考慮すれば、紙幅の限定もあり、詳しい記載・議論を行なうことには基本的に無理があると判断する。ここでは、いくつかの図を示すことを優先し、それらから読み取れる事象、現象を断章的に指摘することにしよう。これは、このような記載、分析、解釈のメモが集積されることへの期待でもある。

2 2011年3月11日東北地方太平洋沖津波の挙動から

概観（図1）¹⁾

2011年3月11日、マグニチュード9.0の地震による超巨大津波は2000 kmにもわたって太平洋沿岸を襲った。この津波（以後3.11津波と記述）は地震発生1時間後には北海道太平洋沿岸にも到達した。東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループは、わずか一ヶ月余の短期間に5,300地点以上で浸水高、遡上高を計測し、土木工学会海岸工学委員会のホームページ上に逐次集積し、公開した¹⁾。その図は、三陸沿岸では津波の遡上高は最大40mを越え、広範囲で30～10m以上を記録した超巨大津波を明瞭に示した。津波は低平な仙台平野などでは内陸へ5 km以上、勾配の緩い河川では十数 km以上も遡上した。

震源から数百 km 離れた北海道太平洋沿岸でも、津波の浸水・遡上は、いくつかの地点で5.5～6.7 mという例外的な高さが見られたが、ほとんどの地点では2～4m、すなわち海浜内であった。しかし、根室半島でも防潮堤のない小谷では、津波は谷底を遡上した。北海道太平洋沿岸域はほぼ全域が3.11津波の直接の浸水・遡上をкаろうじて免れたが、多くは防潮護岸によったことを意味する。

*北海道大学・名誉教授

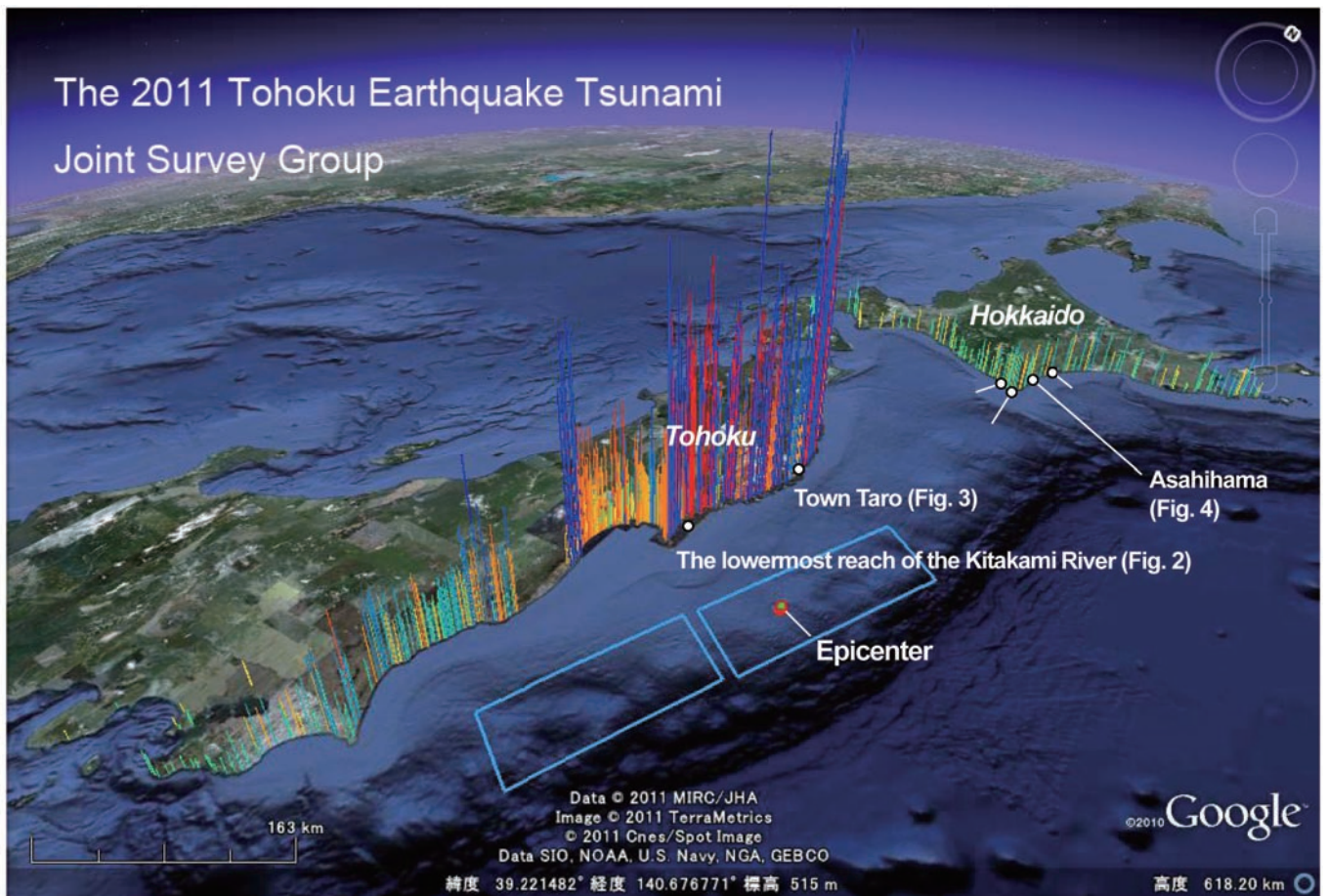


図1 2011 東北地方太平洋沖津波の遡上・浸水高分布
 (土木学会海岸工学委員会ホームページ <http://www.coastal.jp/tsunami2011/>)
 暖色系は浸水高を、寒色系は遡上高を示すと分類されているが、厳密な区分は困難。
 北海道太平洋沿岸では、津波浸水・遡上高は3～5m前後。
 Fig.2,3,4, はそれぞれの図の位置。

これらの事実は、たとえば①日本海溝のM9クラスの地震が発生させる津波は、北海道東部～房総半島にまで津波堆積物を残すような挙動（遡上，浸水）を示すこと，②従って地層として残されている過去の津波堆積物にはそのような地震・津波の記録も含まれていると考えるべき（後述のようにそのような津波堆積物が存在する）こと，③遡上高は広範囲に30～40m，浸水範囲は海岸から5～6kmにも及ぶこと，④さらに，発想を逆転すれば，北海道太平洋沖の千島海溝で超巨大津波が発生した際には，東北地方太平洋沿岸への伝播，挙動について想定・考察しておくべきことなど多くの事実と示唆を与える。

津波の浸水域，遡上域およびそれらの標高データを青森県から千葉県に至る全域について2万5千分の一地形図上に図示した津波詳細地図²⁾（原口・岩松，2011）は最も基礎的かつ肝要な一次資料である（原口は広範囲にかつ統一的に踏査，観察・記載した唯一の研究者と言えるだろう）。この地図から津波挙動に関する多岐多様（たとえば，リアス湾入や

谷の規模，湾口・湾入や谷口の方位・方向，沿岸平野の広がりや標高分布すなわち縦断形や横断形など多指標・多項目）な検討，分析が可能であるが，十分な検討がなされてきたとは言い難い。津波堆積物の調査・研究者は，今後も詳細地図を徹底的に眺め，津波堆積物の性状，分布と3.11津波の挙動を併せながら考え続けなければならない。

このような3.11津波の様相の理解に加えて，津波堆積物研究の際に認識しておくべきは，津波遡上・浸水範囲全域で津波堆積物を視認できるわけではないことである。三陸沿岸各地の傾斜地では，津波遡上・浸水高は津波小礫分布上限より8～12mほど高い地点が多いという³⁾。この観察事実は，過去の津波堆積物に基づく古津波の規模の評価は小さくならざるを得ない限界があることを示している。低平な平野での遡上限界に近い泥質になる津波堆積物の認定・評価についても同様の観点・理解を要する。ここでは，各地・諸条件下におけるこれらの諸現象・事実の詳細記載が肝要との指摘に留める。

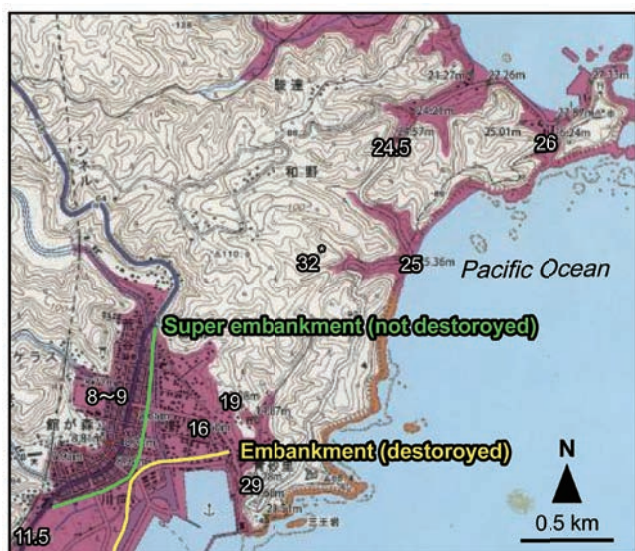


図2 岩手県宮古市田老地区とその周辺の3.11津波の挙動、スーパー堤防は位置

以下は、これまでに筆者が注目してきた津波挙動の現象・事象のうち、津波被災の核心地域から田老周辺および北上川・大川小学校周辺、相対的な遠地、北海道太平洋沿岸の十勝海岸の事例である^{4) 5)}。

三陸沿岸、宮古市田老周辺の津波挙動とスーパー堤防 (図2)

以下に田老とその周辺で際立っている点を列挙する：

- 太平洋に直接面する小谷（谷口100～200m、奥行き～1km程度）では、標高25～30mを越えて遡上した。海岸の谷口でも、すでにほぼ同じ浸水・遡上高で、谷は“満杯”、“減衰しない”状態になった。このような遡上・浸水はほとんどの小谷で特徴的に見られる。
- 田老の漁港周辺の山際では、遡上は標高15～30mに達するいっぽう、スーパー堤防背後の市街地では10mに達しない。
- スーパー堤防の破壊はほぼ皆無であった。スーパー堤防の法面は、海側陸側とも勾配45度で、津波を弱めて溢流・浸水させるいっぽうで、市街地を湛水させた（被災直後の空撮写真では、民家は破壊されておらず、浸水・冠水による被災のようにみえる）。
- 対照的に、漁港背後の新規防潮堤は破壊され、住宅は一掃されたかのように流失した。
- スーパー堤防がなければ、津波は市街地を直撃し、指定避難先の小・中学校が位置する小谷を満たすように遡上した可能性が高い。
- このような防潮堤の有効性は、たとえば宮古市街地周辺の津波挙動でも明瞭で、原口・岩松（2011）

の詳細地図からは、同様な事例は多いと判断できる。逐次検証されなければならない。

北上川と大川小学校 (図3)

- 北上川は石巻湾に注いでいたが、現在の追波湾に流入する最下流部十数kmは、昭和初期までに掘削された人工河道である。この人工河道区間部は、地形発達史的には、完新世海進時には狭い海峡であり、その後標高1～3m程度の低湿地となった形成史をもつ。
- 大川小学校（84名の児童、教員が津波の犠牲になった）は現河口、海岸から約4km地点に位置する。ここでの津波浸水高（ほぼ浸水深）は7～9mと異常に大きな値を示す。
- 人工河道区間部全域の浸水高分布は、北上川の5m堤防の高さと配置および合流する小河川の位置によって決まっていると判断できるところも多い。大川小学校周辺での異常浸水高はこれらの条件が重なって発生したように見える。
- そもそも、津波は川幅500～750mもの北上川を遡上し、溢流した。沿岸部の平野の広がり（横断幅2～3km）と海岸からの距離、さらに同じような地形条件の他の平野での津波挙動を考慮すれば、人工河道北上川のない自然条件下の大川小学校付近は、津波遡上の限界に近いと解釈することができよう。少なくとも、異常な津波浸水高には達しえなかったに違いない。
- 人工河川化および堤防は、津波の遡上、局所的な異常浸水を導くことへの予測と配慮が必要であることを明示する事例である。

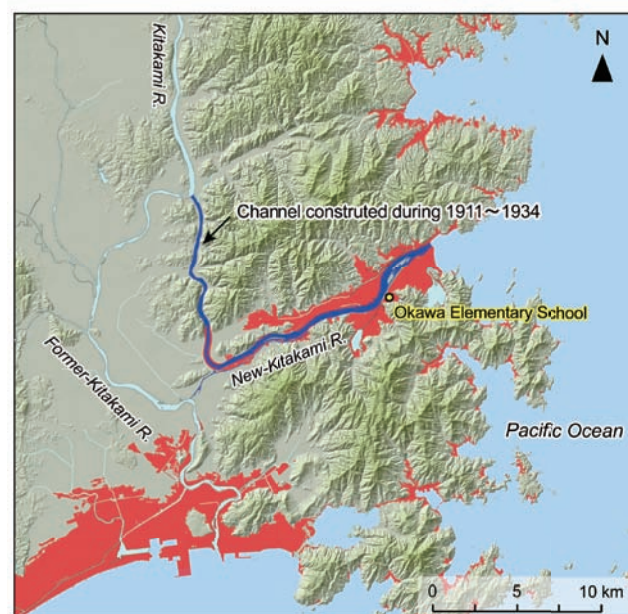


図3 北上川下流部の地形、人工河川化、3.11津波の遡上域ならびに大川小学校の位置

遠地での挙動：北海道太平洋，十勝海岸の例

日本の海岸線は90%以上が人工的に手を加えられており，自然の海岸はほとんど失われたといっても過言ではない。主として1970年代以降，急速に人為的地形変化した海浜，海岸だけでなく，海浜の漁業的土地利用，港湾施設，埋め立て造成，防潮護岸，海浜の侵食・堆積とそれらへの工学的対応などは津波の挙動にどのように影響するかの観点が必要であろう。

大樹町旭浜海岸（図4）

小漁業集落・旭浜では1973年以降，突堤による漁港が建設・拡張され，港湾内は埋立地を伴う。防潮堤の高さは5～7mである。北海道太平洋沿岸の漁港・港湾は規模の大小はあっても，ほとんど同様の構成である。この周辺では，3.11津波は，浸水・

遡上高は図4(B)，(C)と(D)に示されるように，港湾の内外で局所的に異なる様相を示した。

港湾内での津波浸水高は3.4mであったが，埠頭部は水面から1～2mであるため，津波は埋立地を容易に遡上・浸水する。港湾突堤の建設は，著しい侵食の発生，海岸線・海食崖の後退を導いた。海岸侵食が激しい区間では，標高5mまでの基部をコンクリート連続護岸が，その上部の標高10mの段丘表面までを勾配45度の法面が施工されている（図4(B)の黒実線）。ここでは図4(B)，(C)，(D)に示すように，津波は法面の標高7～8mの高さまで遡上し，最高点は9mを記録した。すなわち，突堤港湾内の津波浸水・遡上高は隣接する海岸侵食対策護岸域では，2.5倍にも達したことを示している。

侵食対策としての連続護岸，勾配45度のスムーズな護岸法面は，津波の遡上を局所的に著しく増大

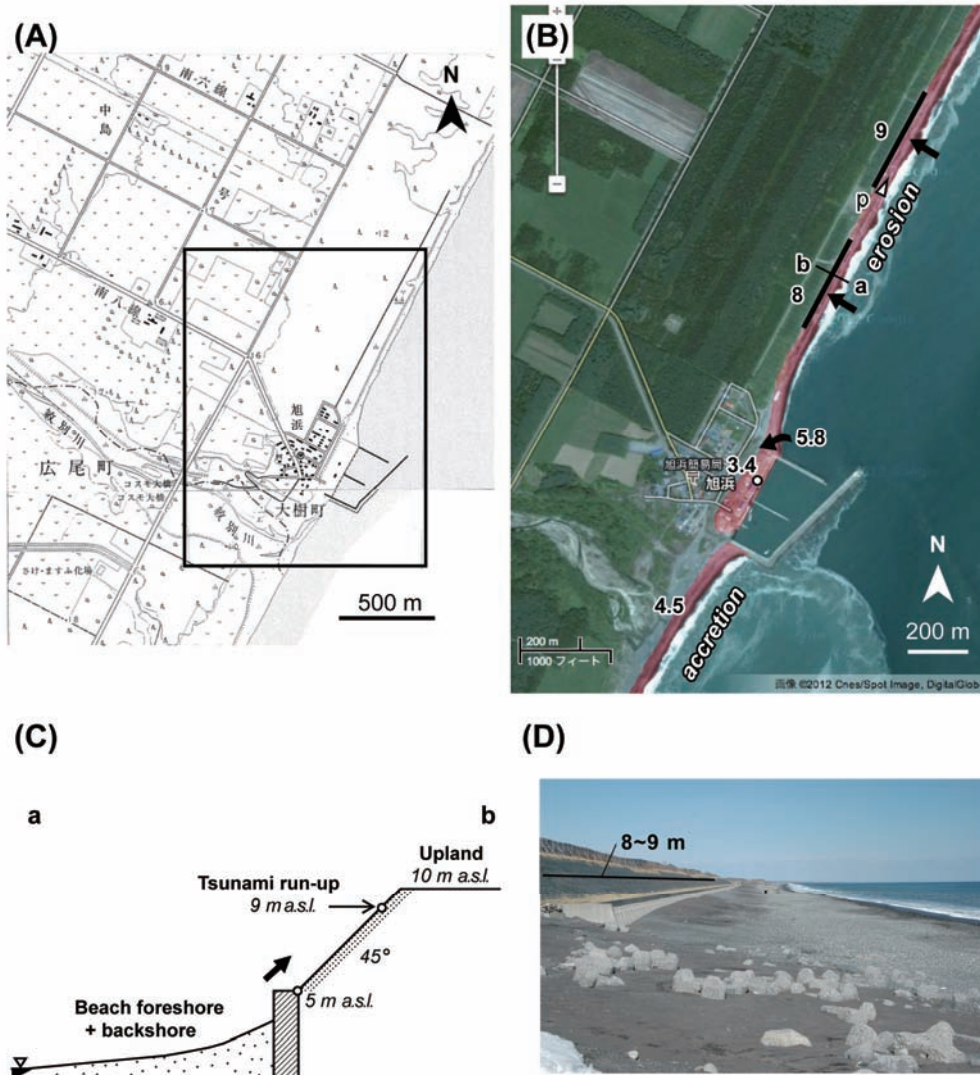


図4 十勝地方太平洋岸・旭浜漁港と周辺の人為的海浜環境変化と局所的津波挙動
 (A) 地形図，(B) 3.11津波の浸水・遡上高 (m)。黒直線は海岸侵食対策護岸施工区間，黒矢印は津波の侵入方向。Pは写真(D)の撮影位置と方向。(C) 海浜～海岸侵食対策護岸の横断面および津波遡上。(D) 海浜～護岸および津波遡上高を示す現地。

させたという事実には注意する必要がある。

港湾埠頭からの遡上・浸水は、北海道太平洋沿岸のほぼすべての港湾～海岸市街地（たとえば、釧路市、厚岸町など）で発生した。防潮堤のない海浜の昆布干場、防潮堤前面のテトラポット配置が局所的な津波高遡上を導くこともある。今後の津波災害をサイトスケールでも回避・軽減するためには、ごく狭い範囲で津波の挙動に突発的な影響を及ぼした人為的要因についての注意深い現地観察と、それに基づく配慮・予測が必要である。

津波堆積物と超巨大津波の認識

千島海溝～日本海溝

2011.3.11のような超巨大地震とそれに伴う超巨大津波は、過去数千年の履歴の中で考えるなら、どのように理解できるだろうか。1611年慶長三陸津波、869年貞観津波、さらには北海道太平洋沖の千島海溝で発生した17世紀初頭の500年間隔津波（以後17C500年間隔津波）などはどのように評価すべき

だろうか。このような超巨大津波の履歴と挙動について検討するには、津波堆積物を広域かつ詳細に調査するのが最適な手段であり、3.11津波は如実にそれを示した。

古津波（堆積物）の時間・空間（地域）ダイアグラム（図5）と超巨大地震の震源域の可能性（図6）を示す。これらの図は宮城県石巻付近から陸中、陸奥（下北）、さらに北海道の噴火湾、日高沿岸、十勝～釧路、根室に至る太平洋沿岸の要所（図中のA～K）において、筆者自身が観察・記載してきた古津波堆積物から導いた震災半年後の2011年12月時点でのまとめである^{6) 7)}。その後に加わった多くの現地記載、年代測定資料などから、修正を要する点もある。また、とくに北海道東部では、産総研による優れた一連の研究がおこなわれてきた（参考文献はそれらのうちのいくつか^{8) 9) 10)}。これらの知見から、筆者が考えてきた津波堆積物の意味について以下に要点を列挙しよう。

- およそ1150年も遡る869年の貞観津波は、三陸沿岸全域だけでなく北海道太平洋沿岸にまで達し、低湿地を遡上して堆積物を残した。いっぽう、噴火湾ではその津波堆積物は確認されていない。869年貞観津波の前の超巨大津波は、やはり1000年前後遡る紀元（AD/BC）～2200年前頃に発生した。さらに遡る超巨大津波は約3500年前頃の津波堆積物によって示される。（修正：図5では、AD～BC頃の津波堆積物は、陸奥～下北沖を波源域（斜線表示）としているが、その後の調査から、3.11津波および869貞観津波と同様ないしはより北方にまで拡がる波源域の津波・地震と解される）。
- 1611年慶長三陸津波、北海道の17C500年間隔津波：17世紀初頭の超巨大津波による堆積物と史実が仙台平野～三陸沿岸および十勝～根室沿岸全域に広く残っている。また高遡上・浸水したこの（時期を示す）津波堆積物が、3.11津波、869貞観津波はほぼ海浜に止まった噴火湾～日高沿岸でも広く認められる。
- 根室～十勝の津波堆積物に基づく従来の17C500年間隔津波のモデルでは、津波は噴火湾や日高沿岸では小規模で、現実の津波堆積物分布を説明できない。いっぽう、1611年慶長三陸津波なら、噴火湾、日高沿岸の津波堆積物分布を説明するためには、3.11地震より北方にまで拡がる波源（震源）域を考えなければならない。さらに、2011.3.11地震は貞観869地震の1000年来の繰返しとされるが、1611年慶長地震からだとも400年

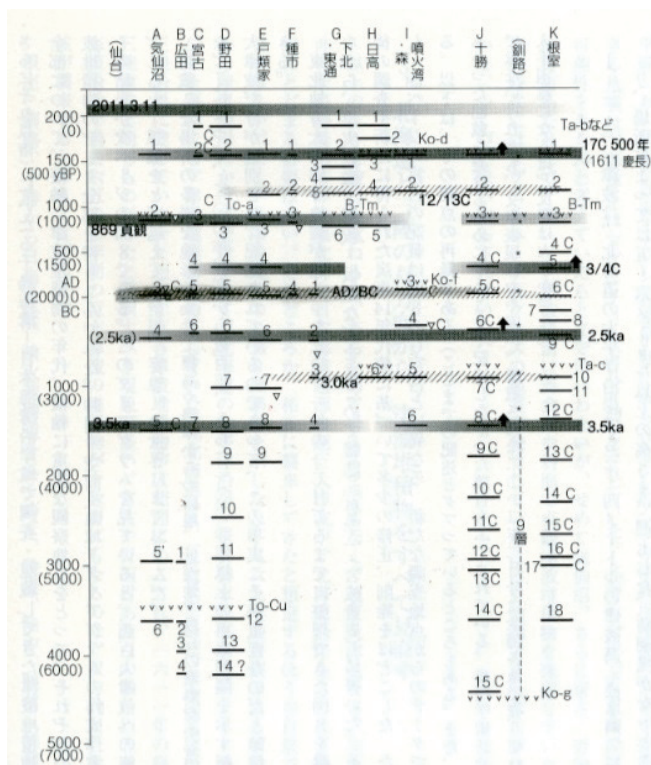


図5 津波堆積物に基づく東北地方～北海道太平洋沖の日本海溝および千島海溝を起源とする超巨大津波の時間-空間（地域）ダイアグラム。
短横線と数字：調査地点毎ごとの津波堆積物と上からの順番、枠付きの表示：同時に生じた超巨大津波の堆積物の分布域、伝播の方向および仮の名称。Ta-bなどアルファベット表記は年代既知の広域火山灰。▽は土器片産出層準。上向き太矢印は突発的隆起を示す堆積環境および地形の証拠。A～Kは主要な調査位置（図6に対応）。

を経ての巨大地震となる（1611 慶長津波の文書記録，堆積物分布は，3.11 津波と同等ないしそれ以上に広域に及ぶことを示す）。

- 17C500 年間隔津波（地震）は十勝～根室では地殻変動と地形変化を伴った。1611 慶長三陸津波と 17C500 年間隔津波は千島海溝を波源とする 17 世紀初頭の同一の超巨大津波であったとして矛盾はないし，むしろ合理的に解釈できる現象が多い。その場合，日高沿岸や噴火湾のまで分布する津波堆積物は，波源域が襟裳岬沖の西方にまで及んだことを示唆する。この震源域はこれまでの十勝沖～根室沖の震源域連動をはるかに越える規模になり，M9 クラスの地震が想定され得る¹¹⁾。
- 17C500 年間隔津波に先行する千島海溝起源の巨大津波は約 3～4 世紀頃（約 1200 年の間隔）である。津波堆積物は噴火湾では認められないので，震源（波源）域は 17C500 年間隔津波のそれより東にずれて根室沖～北方領土沖にまで広がったと考えられる。この（時代を示す）津波は三陸沿岸

でも，宮古付近より北の陸中～陸奥沿岸では高遡上した津波堆積物が認められる（図 5 作成時には未確認）。

- さらに先行する千島海溝起源の超巨大津波は 2.5ka 前ころ（間隔は約 800～900 年）に発生した。やはり十勝沿岸砂州の地形変化によって示される地殻変動（先行する沈降と地震後？隆起）を伴った。また現釧路湿原の泥炭の発達範囲を決定づける海岸砂州の隆起をもたらした。
- 12/13C 頃，および 3000 年前頃の年代を示す津波堆積物は日高沿岸，噴火湾の最奥部にまで達するとともに，陸中～陸奥や十勝～根室沿岸域でも広く浸水し，高所にまで遡上した。このような津波堆積物分布をもたらすのは，三陸中部～北部一帯に波源域があった可能性を想定することでもっともよく理解・解釈可能である。図 6 では陸中から陸奥（下北）沖に広がる巨大地震・津波の震源域・波源域があると考えられるほうが自然にみえる。
- 以上のような検討は，さらに遡って過去 6500 年

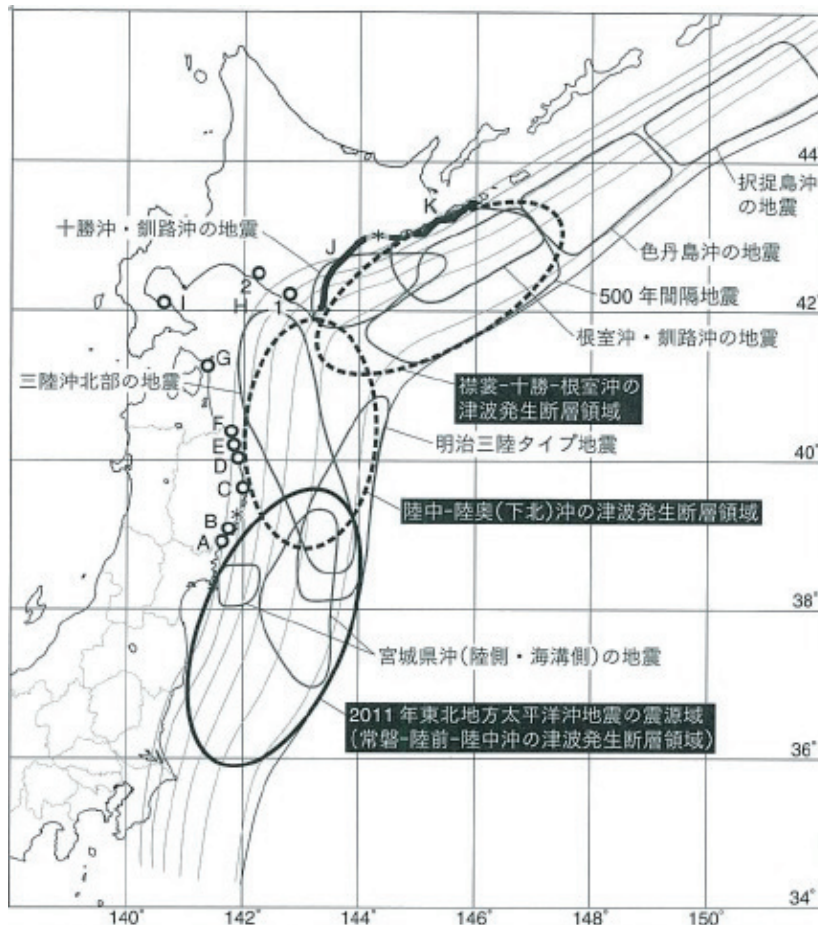


図 6 津波堆積物から推定される東北地方～北海道太平洋沖の日本海溝・千島海溝を起源とする超巨大津波の断層領域。
A～K（図 5 に対応）はおもな津波堆積物調査・記載地点。
基図は内閣府中央防災会議報告の巻末資料 5¹³⁾ を使用。それぞれの領域は国の防災対策の検討対象で，津波を発生させる断層領域を示す。

奥尻島	西津軽(小泊)	西津軽(椿山)	男鹿半島	飛島	佐渡
1993 北海道南西沖	1983 日本海中部	1983 日本海中部		1833 庄内沖	(1833 庄内沖)
Ts1 1741 渡島大島	Ts1		Ts1	Ts 1 10C.?	(1762 佐渡沖)
Ts 2 13~14C?(1.0ka?)	Ts2	Ts 1 9C.?	Ts2	Ts 2 850 AD?	Ts 1 10~11C.?
Ts 3 AD/BC				Ts 3	Ts 2 9C.?
Ts 4 (2.9 ka.?)				Ts 4 2.8 ka	Ts 3
Ts 5 (3.5 ka.?)				?	Ts 4
Ts 6.?(5.0 ka.?)				?	Ts 5

表1 日本海東縁の古津波堆積物に基づく古津波履歴

間についても可能であろう。

これによって、超巨大津波によると目される堆積物はいくつかの波源域から相互に伝播した可能性が強いという考えを導く。従って、各地の津波堆積物年代データがそのまま巨大地震の再来間隔を示すことにはならない。たとえば、北海道太平洋沿岸の500年間隔津波は500年ごとの千島海溝での巨大地震発生を意味するわけではない。すなわち、“500年間隔津波”はあっても、対応する“500年間隔地震”はない場合があるということである。

- 津波堆積物の時空分布は、東北地方～北海道沖の日本海溝、千島海溝には三つの異なる超巨大地震・津波の震源・波源域があることを示すとともに、それぞれの領域に、1000年程度から1300年前後の再来間隔を示す超巨大地震のスーパーサイクルがあることを示唆する。
- それぞれの波源域での最新の巨大津波イベントからの経過年数は、次の巨大津波への切迫度を示すと考えられる。この考えに立てば、三陸沖北部においてかなり切迫していると言えよう。
- 付言：明治三陸津波および昭和三陸津波の堆積物が、上記の一連の高遡上津波堆積物層を構成する例はこれまで確認できていない。これらふたつの津波は上記の津波に比べるとやや小ぶりであったのか、津波堆積物は人為的に擾乱・除去されたためであるか判断できていない。北海道太平洋沿岸では、津波堆積物は認識できない。

日本海東縁(表1)

日本海東縁では1964新潟地震、1983日本海中部地震、1993北海道南西沖、さらに1940積丹沖と20世紀の数十年間に連発した。さらに1833年の庄内沖の天保出羽沖地震を加えれば、過去150年ほどの期間に北海道の積丹沖から新潟地震を起こした粟島周辺まで震源域はほとんど連続してしまう。ただし、佐渡北方沖では津波堆積物が示す巨大地震・津波は最近(19～20世紀以降)発生していない。

- 津波堆積物に基づけば、これらの地震領域では、

9世紀中葉ころを中心に10～11世紀頃にかけて、同様に地震。津波が頻発していた可能性が高い。

- 紀元前後ころにも、同様に地震・津波が集中した可能性がある。日本海東縁では、系統的な津波堆積物に基づいて、さらに遡る数千年間についても、1000年程度の再来間隔で、100～150年程度の期間内に巨大地震が頻発・連発してきた時期の有無について検討できると思われる。
- これらの津波が高遡上・浸水する範囲は地震規模(最大M7.8程度の活断層タイプと想定される)に応じて狭いが、1993年北海道南西沖地震津波が局所的には標高20～30mまで遡上した事実がある。また、震源(波源)域が近いことから、津波は1～5分程度で襲来することにも留意すべきである。

南海トラフ

南海トラフで発生してきた過去の津波の認定と評価は、超巨大地震発生の有無(時期、間隔および規則性)、あるいは歴史時代の巨大地震と津波の関係について検討するために必要不可欠である。とりわけ信頼度を高めるには、完新世海進以降の数千年間における古津波堆積物の調査・研究が鍵を握っている。ここでは三重県志摩半島において得られた古津波堆積物の記載と目下の解釈を示すとどめる。従来の南海トラフの地震発生領域との関係で言えば、東南海～東海地震に対応する沿岸域である。

- 超巨大津波(地震)はあったか?

完新世海進以降の古津波堆積物層の数に基づけば海岸の地形・土壌条件の変化が極めて小さかったと考えられる地点でBC4363～4332以降3層ないし4層(684白鳳地震津波によると推定される津波堆積物より下位に1～2層、上位に1層ないし2層)である。

紀伊長島でも、弥生期(2.2kaと鑑定)の土器片を含む埋没土壌の上下に、それぞれ1～2層、全部で4層程度にすぎない。

以上のような地点では、完新世海進以降の古津波堆積物は4層ほどであり、超巨大津波のみが記録されている可能性を指摘しておく（それらは、縄文期？弥生期 2.2ka, 白鳳 684, 宝永 1707?）。この推測は、岡村・松岡, (2012)¹²⁾と矛盾しない。

● 歴史時代の巨大地震との対応

南海トラフの巨大地震履歴に関しては、684 白鳳地震以降について正確な同定史・資料がある。現海岸線付近の標高 10m 以下の緩斜面では随所に～7層の海浜砂礫薄層が認識できる。これらの海浜砂礫層および上下の陸成角礫層に含まれる土器片、古土壌の C-14 年代にもとづけば、684 白鳳 1096 興和, 1498 明応, 1707 宝永, 1854 安政の地震に対応する古津波堆積物が認定できる可能性がある。

4 おわりに

ここまで書き進めてきて、相変わらず「東日本大震災による津波堆積物と被災の様相を論じつつ、国内の他の地域ではどのようなことが起こり得るのか。津波堆積物調査をどのように防災計画に役立てるのか」という命題に焦点が合っていないことを自覚している。本稿は、津波堆積物の詳しい記載に基づく超巨大津波の検討・議論を行なったわけではない。筆者の着目、着眼点といくつかの事例を断片的に紹介し、目下の考えを羅列・列挙的に並べたにすぎない。2011.3.11 超巨大津波を経験してしまった津波堆積物研究の学徒としては、まずは、宮古市田老、北上川人工河川、北海道の人為的地形改変と津波挙動など、地点、地域などを余すところなく、記載、分析する責務を負っている、未だ果たしていないのだと主張したい。3.11 津波が伝播した太平洋沿岸 2000km という広がり、過去に繰り返し発生し、将来にも発生するに違いないマグニチュード 9 クラスの地震・津波の様相について学術的にも防災対策上からもモデルとしなければならない。本稿が、そのような思考、調査、防災対策のきっかけになれば幸いである。仮説的ではあっても、超巨大津波およびその挙動を想定し得るデータ、とりわけ一次データを開示し、折々の考えを提示することが責務であると考えている。

〈引用文献〉

- 1) 土木学会海岸工学委員会：2011 東北地方太平洋沖津波の遡上・浸水高分布, <http://www.coastal.jp/tsunami2011/> (2011 年 7 月 1 日確)
- 2) 原口 強・岩松 暉「東日本大震災津波詳細地図 上巻：青森・岩手・宮城」, 古今書院, 2011
- 3) 仁科健二・川上源太郎・田近 淳：「2011 年東北地方太平洋沖地震津波によって形成された三陸海岸の礫質津波堆積物」, 「北海道地質研究所報告」, 85, pp.27-44, 2013
- 4) 平川一臣・水木千春：「北海道太平洋沿岸の人為的海浜地形改変が与えた 2011.3.11 東北地方太平洋沖津波の挙動への影響」, 「地球環境」, Vol.18, pp.85-90, 2013
- 5) Hirakawa, K. and T. Komatsu：「The influence of man-made constructions and land-use on the behavior of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami : some examples from the Pacific Coast of Tohoku and Hokkaido」, 「Global Environmental Research」, Vol. 18No. 1, pp.19-26, 2014
- 6) 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」, Vol.82, pp.172-181, 2012
- 7) 平川一臣：「津波堆積物を、歩いて、観て、考える」, 「小泉・赤坂 編：フィールド科学の入口 自然景観の成り立ちを探る」所収, pp.124-171, 玉川大学出版会, 2013
- 8) 七山 太 ほか：「釧路市春採湖コア中に認められる、千島海溝沿岸域における 過去 9000 年間に生じた 20 層の津波イベント堆積物」, 「活断層・古地震研究報告」, No.1, 233-249, 2001
- 9) 七山 太 ほか：「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」, No.2, pp.209-222, 2002
- 10) 澤井祐紀・佐竹健治・七山 太・添田雄二：「北海道東部厚岸町国泰寺跡において検出された津波堆積物の年代」, 「活断層・古地震研究報告」, No.4, 1-7, 2004
- 11) 北海道危機管理対策課：「太平洋沿岸に係る津波予測図作成業務報告書」, 57 p. 2012, 7
- 12) 岡村 真・松岡裕美：「津波堆積物から解る南海地震の繰り返し」, 「科学」, Vol.82, pp.182-194, 2012
- 13) 内閣府中央防災会議：「日本海海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」報告, 巻末資料, 2005 および同「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報告 参考図表集」, 2011
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinihon/sankou.pdf>
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/houkoku/kanmatsu1.pdf>

地質記録と津波浸水シミュレーションによる貞観地震の復元

さわい ゆうき*
澤井 祐紀*

Key Word 貞観地震, 津波堆積物, 津波浸水シミュレーション

1 はじめに

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする超巨大地震(Mw 9.0)が発生した。この地震については、報道の中で「想定外」という言葉が繰り返し使われた。一方で、2011年より前から、独立行政法人産業技術総合研究所(当時。2015年4月1日より国立研究開発法人産業技術総合研究所。以下、産総研)や東北大学などの研究グループによって、東北地方で発生した西暦869年の巨大地震と津波(貞観地震あるいは貞観津波)の地質学・地球物理学的な研究がなされており、本地域における巨大地震の発生は、地質学的には必ずしも予想できないものではなかった事が注目された。本論では、これまでに行われた貞観地震の研究について、その経緯、得られた成果、残された課題点について紹介したい。

2 『貞観地震』とは

平安時代に編纂された歴史書『日本三代実録』には、貞観十一年五月二十六日(ユリウス暦869年7月9日)に大きな地震と津波が発生したことが記されている(図1)。そこに記された文章を要約すると以下の通りである。

『陸奥国で地震があった。流光が昼のように光った。その時、人々は悲鳴を上げ、伏したまま立つことができなかった。ある者は家屋の倒壊により圧死し、ある者は地割れにのまれた。(中略)城郭、倉、門、囲いの壁が崩れ落ち、ひっくりかえり、その数は数え切れなかった。海口が吠え叫び、雷のような音がして津波が押し寄せ、たちまち城下にまで達し、広大な土地が水に浸った。野原も道路もすべて海原となった。舟にも乗れず、山に登って逃げることもで

きず、溺れ死んだ者千ばかり、資産や農作物はほとんど残らなかった』^{1, 2)}

ここでいう「城郭」は、当時国府のあった多賀城市のものであると一般的には解釈されているが、岩沼市にあったという説もあり³⁾、その詳細には議論の余地がある。しかし、いずれの説にせよ、仙台平野で大きな地震動と津波浸水があったことは間違いない。この地震は、当時の元号から「貞観地震」あるいは「貞観津波」と呼ばれ、1906年に歴史地理学者である吉田東伍氏によって考察されていた⁴⁾。しかしながら、吉田による報告以降、長く貞観地震について検討されることはなかった。

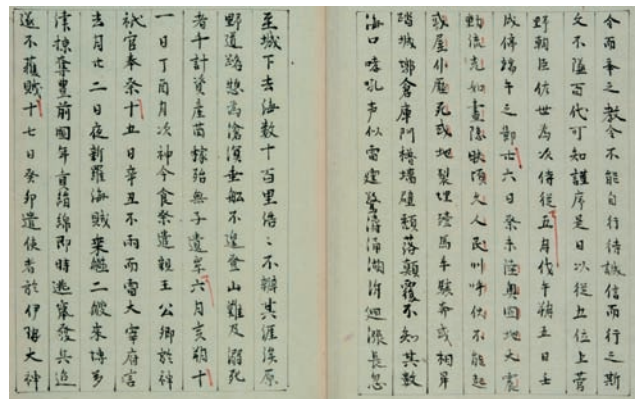


図1 国立公文書館所蔵に所蔵されている日本三代実録(西暦1614年の写本)

3 巨大津波の痕跡 —津波堆積物—

貞観地震の地質学的な証拠について紹介する前に、巨大津波の直接的な証拠である津波堆積物について簡単に説明したい。

巨大地震の長期予測は、「昔起きた地震は、将来

*国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 主任研究員

も起きるだろう」という考えを基本に行われている。従って、地震イベントのサンプル数が多ければ多いほど、また把握している巨大地震の履歴が長ければ長いほど、より信頼性の高い長期予測が可能となる。しかしながら、人類が残した古文書の記録から地震・津波の発生履歴を探ろうとしても、日本ではせいぜい数百年から千年程度までしか遡ることができない。近年、こうした問題点を解決するために、長期間の地震・津波に関する地質の情報、特に過去の津波の痕跡である「津波堆積物」に期待がよせられるようになった。

地質学的な時間スケールと比較すると非常に短時間（例えば、数日以下）にたまる堆積層を「イベント堆積物」という⁵⁾。イベント堆積物には、津波堆積物だけでなく、洪水堆積物、高波・高潮堆積物、ラハール堆積物などが含まれる。これらのうち、津波堆積物は「津波またはそれから派生した水流によって海底や沿岸の砂泥や礫などが侵食され、それらが別の場所へ運搬されて再堆積したものの総称」

と定義することができる⁶⁾（図2）。

津波堆積物は、その給源や堆積過程などにより様々な形態を持っている（図2）。最もよく紹介されるのは、海岸や河床の砂が内陸に運搬された砂質の津波堆積物であり、貞観地震の研究例でもこの種の津波堆積物が扱われた。このほか、津波によって運ばれた巨礫である津波石や、流された植物遺体の集積も津波堆積物の一部と言える。

ある地層中から津波堆積物を認定する試みは数多く報告されているが⁷⁾、「この特徴が見られれば津波堆積物である」あるいは「この指標を使えば津波堆積物を認定できる」というような方法は未だ確立されていない⁶⁾。従って、現状では、これまでに議論されてきた項目をひとつひとつ検討し、なるべく多くの状況証拠を積み上げて津波堆積物の認定を行っていくしかない。津波堆積物を認定する際の検討項目は、地層中の津波堆積物の認定についてまとめた澤井（2012）や、独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES；現在は原子力規制庁と統合して、原

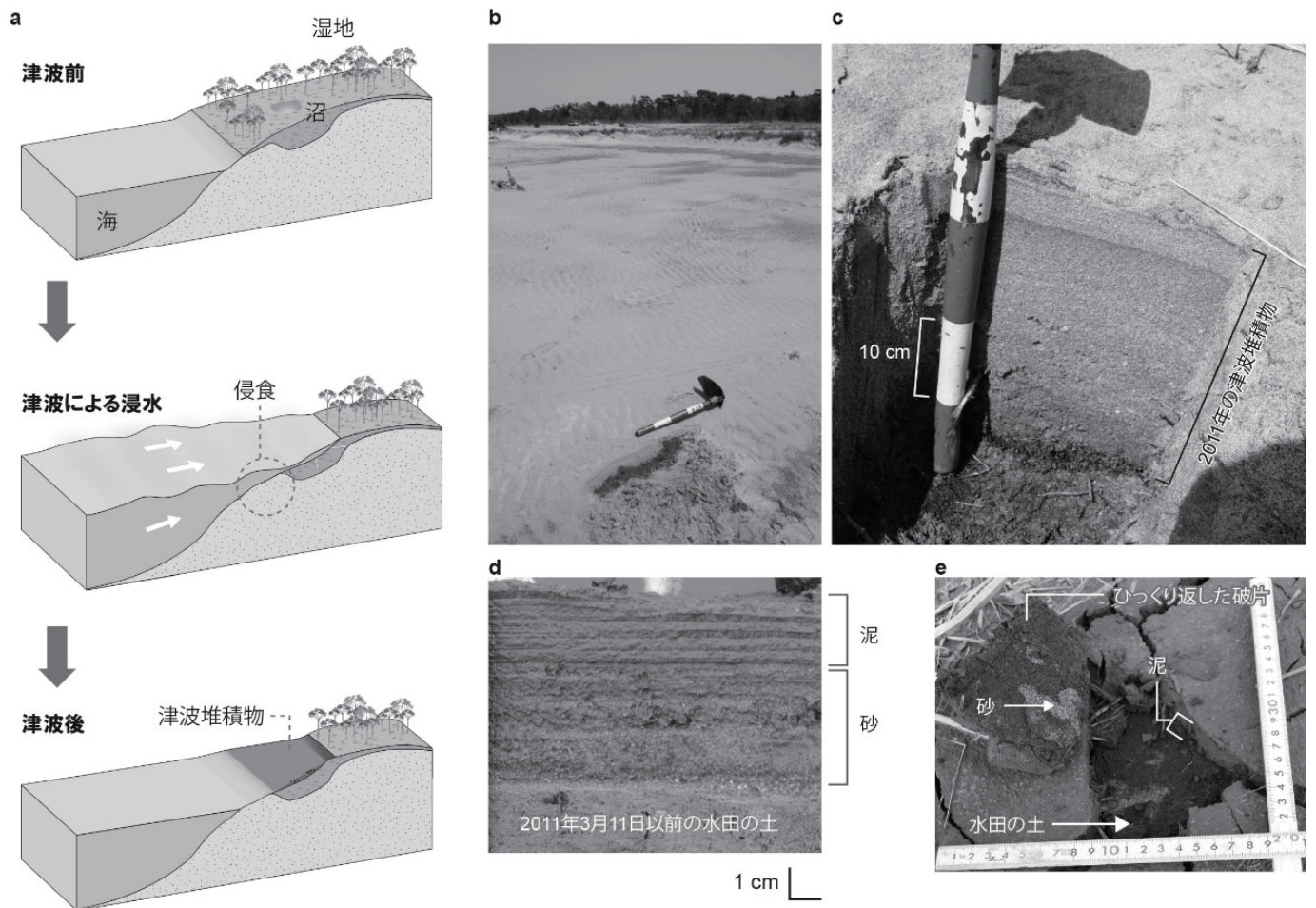


図2 a. 津波堆積物の形成過程（Sawai, 2015 を改変）³¹⁾
 b-e. 2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物（澤井, 2014a を改変）³²⁾

子力規制委員会)が出版した津波堆積物調査ハンドブック⁸⁾に詳しく記されているので参照していただきたい。

4 貞観地震の地質学的な証拠

4-1 貞観地震に関する地質調査の経緯

貞観地震による津波堆積物は、東北大学および東北電力の研究グループが仙台市においてはじめて報告した^{9, 10)}。これらの報告は、歴史書に記された地震の地質学的証拠を発見したという点において画期的なものであったが、調査地域が限られているために浸水範囲を平面的に捉えるのが難しかった。これらの報告から約10年後、東北大学の菅原らによって貞観地震による津波堆積物が再検討されるようになった¹¹⁾。菅原らは、仙台平野北部だけでなく福島県北部相馬市において貞観の津波堆積物を報告し、貞観津波の浸水域を明らかにしようとした。

菅原らの研究にやや追従する形で、筆者が所属する産総研の研究グループにより、宮城県石巻平野および仙台平野の全域、福島県の沿岸域、茨城県の沿岸域の地質調査が行われた^{12, 13, 14)}(図3,4)。また、東北大学の今泉らによって、三陸海岸や福島県沿岸において同様の地質調査が行われた¹⁵⁾。こうした産総研と今泉らの研究は、文部科学省の「宮城県沖地震における重点的な調査観測(平成17年度～21年度)」の一環として行われた。

筆者らが調査を行う際に参考したのは、2000年代に公表された北海道東部における津波浸水シミュレーションの結果である^{16, 17)}。Satake et al. (2008)によれば、海溝付近が地震動を伴わずにすべる「津波地震」のような地震では、海岸に到達する波の波高は高いものの、その浸水範囲は大きくない。一方、十勝地震と根室地震の領域が同時に滑るような地震は、海岸線から数kmという規模で津波が浸水する。筆者らは、東北地方の仙台平野においてもこのような議論ができるのであれば、貞観地震の破壊領域がある程度は特定できるのではないかと考えた。また、典型的な溺れ谷の地形が残る常磐海岸では、地殻変動の記録が保存されている可能性が高く、破壊領域の推定に最適と言えた。

紙面の関係上、貞観地震に関する全ての議論を紹介することはできない。そこで本論では、仙台平野北部・南部と福島県南相馬市の地質学的証拠を紹介したい。なお、各地域の議論の根拠となるデータについては、産総研の津波堆積物データベース¹⁸⁾において公表しているので、そちらもご覧いただきたい。

4-2 仙台平野北部および南部における貞観地震の痕跡

仙台平野は、最も密に掘削調査が行われている地域である。特に、仙台市若林区では、菅原ら¹⁹⁾がおおよそ300地点の掘削を行っており、筆者ら^{12, 14, 20)}も同地域で100地点以上の掘削調査をしている。これらの報告をあわせると、貞観の津波堆積物の平面的な分布範囲を詳細に知ることができ、そこから推定される貞観津波の遡上距離は、当時の海岸線から少なくとも2.0kmである。

仙台平野の南部(亶理町および山元町)では、筆者らが現在水田として利用されている低地帯において83地点の掘削調査を行い、その結果を報告している^{12, 21)}。この報告の中には、山元町南部に位置する水神沼の湖底堆積物から発見された過去の津波堆積物も含まれている²¹⁾。水神沼では、貞観津波とその上下で1層ずつ、合計3層の津波堆積物が確認されている。亶理町と山元町の調査結果から、貞観の津波は、仙台平野南部において少なくとも1.5kmは遡上したと推定されている。

4-3 福島県南相馬市における貞観地震の痕跡

福島県では、筆者らが相馬市から富岡町の周辺においておおよそ80地点²⁰⁾、今泉ほか(2010)が相馬市、浪江町、いわき市においておおよそ20地点¹⁵⁾で掘削調査を行っている。また、菅原ほか(2001)が、相馬市松川浦周辺において貞観の津波堆積物を報告している。

こうした福島県内の調査結果を見ると、南相馬市小高区における津波堆積物の保存状態が最も良いようである。筆者らは、同地区の海岸低地において43地点の掘削を行い、泥炭層あるいは粘土層に挟まれた津波堆積物を3層みつけている¹²⁾。放射性炭素年代測定の結果から、この3層のうち上位のものが貞観の津波堆積物とされている。この貞観の津波堆積物には、細かい貝殻片が多く見られ、明瞭な葉理や偽礫も観察された。本地域における貞観の津波堆積物は、現在の海岸から約1.8km離れたところまで観察することができる。

南相馬市小高区で発見されたのは、津波浸水の記録だけではない。貞観の津波堆積物の上下の地層に含まれている珪藻化石群集の変化を観察したところ、津波が浸水した前後に大きく堆積環境が変化していることが明らかになった。こうした堆積環境の変化は、小高区周辺における地震性沈降によるものと考えられ¹⁵⁾、次章で述べる断層モデルの構築の際に拘束条件として用いられた。



図3 仙台市における津波堆積物の採取風景
白い矢印で示した地層が貞観地震に伴った津波堆積物
(澤井, 2014b)³³⁾

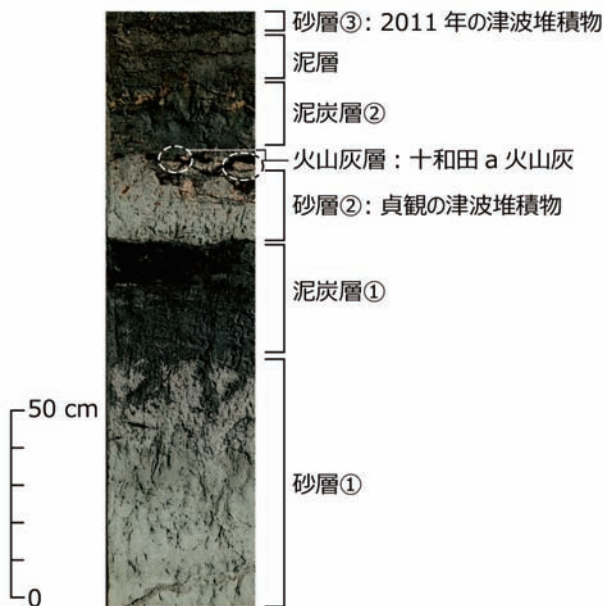


図4 仙台市で採取された試料の地層区分 (澤井, 2014c)
砂層①: 海浜や砂丘の堆積物
泥炭層①: 海岸線の移動に伴って陸地になったこと
よってできた地層
砂層②: 貞観の津波堆積物
火山灰層: 十和田a火山灰 (To-a)
泥炭層②: 十和田a火山灰が降下した後の湿地性堆積
物
泥層: 水田の土
砂層③: 2011年の津波堆積物³⁴⁾

5 数値シミュレーションによる貞観地震の復元

貞観地震の断層モデルは、2000年代初頭に発表された定性的な試み^{11, 22, 23)}と、2008年以降に発表された定量的(あるいは準定量的)なもの^{12, 20, 24, 25, 26)}に分けられる。本章では、これまで報告されてきた断層モデルの概要を紹介する。

5-1 歴史記録などを参考にした定性的断層モデル

定性的な研究の例として、沿岸各地に残された伝承記録に基づいた渡邊(2000)がある。この報告の中で、渡邊は宮城県沖から茨城県北部沖にかけての長さ約200 km、幅約50 kmの断層(M 8.5)を想定している²²⁾。また、菅原ほか(2001)は、仙台北部および相馬市における津波堆積物を説明するために、断層モデルを提案している。この菅原ほか(2001)は、津波堆積物も記載しているため5-2章に含めることもできるが、浸水計算によって堆積物の分布を説明しようとしていないため定性的モデルの範疇とした。

5-2 津波堆積物との比較を基本とした定量的(準定量的)断層モデル

貞観地震の断層モデルに関する定量的あるいは準定量的な議論は、産総研の研究グループによって始められた。初期の報告となる佐竹ほか(2008)では10種類の断層モデルが検討され²⁴⁾、その後、これを踏襲するかたちで、行谷ほか(2010)およびSawai et al. (2012)が合計14種類の断層モデルを検討している(図5)。検討されたモデルのなかには、様々な長さ、幅、すべり量のプレート間地震だけでなく、明治三陸地震(1896年)に代表される海溝軸付近の浅いところで発生する津波地震型の地震、昭和三陸地震(1933年)に代表される海溝軸外側で発生する正断層型の地震、羽鳥(1998)が指摘した仙台湾内の活断層による地震も含まれている。

行谷ほか(2010)およびSawai et al. (2012)では、上記のそれぞれの断層モデルで発生した津波がどれくらい低地に浸水するかを計算し、貞観地震による津波堆積物の分布と比較している。また、Sawai et al. (2012)では、南相馬市小高区において検出された地震性沈降を断層モデルの選択の際の拘束条件にしている。こうした検討の結果、プレート間地震のうち、断層の長さ200 km、幅100 km、およびすべり量7 m(Mw 8.4)の時に、いずれの地域においても、計算上の津波が津波堆積物の位置までおおむね浸水することが明らかにされている¹²⁾。

貞観地震の断層モデルを定量的に議論しようとする試みは、産総研の研究グループだけでなく東北大学も行っている^{19, 26)}。例えば、Sugawara et al. (2012)は、仙台平野における津波堆積物の分布を用いて貞観地震の断層モデルを検討している。この議論では、断層の長さは200 kmと固定し、幅を85 km~140 km、すべり量を5.6 m~8.6 m、断層の傾斜角を30°と10°に変化させて浸水計算を行っている。この結果、幅100 km以上の断層モデルでは浸水域に変化

が無かったことなどを明らかにしている。

5-3 2011年東北地方太平洋沖地震以降の断層モデル

津波の浸水限界と津波堆積物の分布に違いがあることは、以前より指摘されていた。例えば、2004年スマトラ沖地震の際には、津波浸水距離と津波堆積物の分布に大きな違いがあることが報告された²⁷⁾。2011年東北地方太平洋沖地震の際にも、津波の浸水距離は、津波堆積物の分布範囲よりさらに奥まで達することが確認された^{28, 29)}。Namegaya and Satake (2014) はこうした問題点に注目し、砂質の津波堆積物の分布限界周辺での浸水深と流速をそれぞれ1 mと0.6 m/sと仮定し、貞観津波の波源について再検討を行っている³⁰⁾。この結果、断層の長さは少なくとも200 kmで地震の規模(Mw)は少なくとも8.6と推定している。

5-4 残された課題点

Sawai et al. (2012)やNamegaya and Satake (2014)で述べているように、現在推定されている貞観地震の波源域の大きさは、あくまで「宮城県から福島県にかけて分布する地質学的な証拠を説明する」ために必要な最小の値であることを強調したい。今後、日本海溝北部および南部の沿岸において貞観地震に関する地質学的な証拠が見つかり、それを基に数値シミュレーションを行うことができれば、推定される貞観地震の規模はさらに大きくなる可能性もある。2011年東北地方太平洋沖地震と貞観地震の比較には、まだ多くの労力と時間が必要であると筆者は考えている。

6 おわりに

地質記録から過去の地震や津波を復元する試みは、発生間隔が非常に長い巨大地震の検出に有効である。この点を活かした貞観地震の研究成果を受けて、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「古文書等の分析、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月に公表した。この提言を受けて津波堆積物の調査が事業的に行われるようになり、筆者の感覚からすれば、極めて短期間のうちに津波浸水履歴に関する地質調査の成果が求められるようになってきた。本論で紹介した貞観地震の復元

例を参考にしていただき、今後の調査を効率的に行うための一助となれば幸いである。

注：本稿は、澤井ほか(2014)を骨子として、最新の研究成果などについて加筆修正したものである。筆者が行ってきた貞観地震の研究は、岡村行信氏、宍倉正展氏、行谷佑一氏(以上、産総研)、佐竹健治氏(東京大学)との共同研究として進めてきた。本稿をまとめる際には、行谷佑一氏からコメントをいただいた。以上の方に記して感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 渡辺史生(2011) 吉田東伍の研究論文『貞観十一年陸奥府城の震動洪溢』について. 阿賀野市立吉田東伍記念博物館研究報告, 1, pp.1-7
- 2) 澤井祐紀・行谷佑一・宍倉正展(2014) 貞観および貞観以前の巨大津波. 東日本大震災合同調査報告 共通編2 津波の特性と被害, 東日本大震災合同調査報告書編集委員会, pp.5-11
- 3) 渡邊偉夫(1998) 869(貞観11)年の地震・津波の実態と推定される津波の波源域. 歴史地震, 14, pp.83-99
- 4) 吉田東伍(1906) 貞観十一年陸奥府城の震動洪溢. 歴史地理, 8, pp.1033-1040
- 5) 志岐公正(1988) 序論; イベント堆積物と非イベント堆積物. 月刊地球, 7, pp.438-440
- 6) 澤井祐紀(2012) 地層中に存在する古津波堆積物の調査. 地質学雑誌, 118, pp.535-558
- 7) 後藤和久・西村裕一・菅原大助・藤野滋弘(2012) 日本の津波堆積物研究. 地質学雑誌, 118, pp.431-436
- 8) 独立行政法人原子力安全基盤機構(2014) 津波堆積物調査ハンドブック. JNES-RE-Report Series. JNES-RE-2013-2039. 150pp.
- 9) 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, 43, pp.513-525
- 10) 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, pp.265-287
- 11) 菅原大助・箕浦幸治・今村文彦(2001) 西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元. 津波工学研究報告(DCRC Tsunami Engineering Technical Report), 18, pp.1-10.
- 12) 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, doi: 10.1029/2012GL053692
- 13) 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, 7, pp.31-46
- 14) 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・亶理町・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, pp.17-70

- 15) 今泉俊文・石山達也・原口強・宮内崇裕・後藤秀昭・島崎邦彦 (2010) 津波堆積物調査にもとづく地震発生履歴に関する研究. 宮城県沖地震における重点的調査観測総括成果報告書, pp.152-185
- 16) Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B.F., Shigeno, K. and Yamaki, S. (2003) Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench. *Nature*, 424, pp.660-663
- 17) Satake, K., Nanayama, F. and Yamaki, S. (2008) Fault models of unusual tsunami in the 17th century along the Kuril trench. *Earth Planets Space*, 60, pp.925-935
- 18) 澤井祐紀 (2015) 「津波堆積物データベース」の公開. 産総研 TODAY, 2015-1, pp.2
- 19) 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治 (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, pp.501-516
- 20) 岡村行信・佐竹健治・穴倉正展・藤原治・澤井祐紀・小松原純子・藤野滋弘・行谷佑一・藤井雄士郎・Than Tin Aung (2010) 地質調査・津波シミュレーションにもとづく地震発生履歴に関する研究. 宮城県沖地震における重点的調査観測総括成果報告書, pp.186-268
- 21) Sawai, Y., Fujii, Y., Fujiwara, O., Kamataki, T., Komatsubara, J., Okamura, Y., Satake, K., and Shishikura, M. (2008) Marine incursions of the past 1500 years and evidence of tsunamis at Suijin-numa, a coastal lake facing the Japan Trench. *The Holocene*, 18, pp.517-528
- 22) 渡邊偉夫 (2000) 貞観十一年 (869 年) 地震・津波と推定される津波の波源域 (総括). *歴史地震*, 16, pp.59-77
- 23) Minoura, K., Imamura, F., Sugawara, D., Kono, Y. and Iwashita, Y. (2001) The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan. *Journal of Natural Disaster Science*, 23, pp.83-88
- 24) 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, pp.71-89
- 25) 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, 10, pp.1-21
- 26) Sugawara, D., Imamura, F., Goto, K., Matsumoto, H. and Minoura, K. (2012) The 2011 Tohoku-oki Earthquake Tsunami: Similarities and Differences to the 869 Jogan Tsunami on the Sendai plain. *Pure and Applied Geophysics*, doi:10.1007/s00024-012-0460-1
- 27) Chadha, R. K., Latha, G., Yeh, H., Peterson, C. and Katada, T. (2005) The tsunami of the great Sumatra earthquake of M 9.0 on 26 December 2004 — impact on the east coast of India. *Current Science*, 88, pp.1297-1301
- 28) Goto, K., Chagué-Goff, C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczuciński, W., Tappin, D.R., Witter, R.C. and Yulianto, E. (2011) New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. *Marine Geology*, 290, pp.46-50
- 29) 穴倉正展・藤原治・澤井祐紀・行谷佑一・谷川晃一郎 (2012) 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界. 活断層・古地震研究報告, 12, pp.45-61
- 30) Namegaya, Y., and Satake, K. (2014) Reexamination of the A.D. 869 Jogan earthquake size from tsunami deposit distribution, simulated flow depth, and velocity. *Geophysical Research Letters*, 41, pp.2297-2303, doi:10.1002/2013GL058678
- 31) Sawai, Y. (2015) Geological evidence of AD 869 Jogan tsunami – a brochure for peeled tsunami deposit –. GSJ Openfile Report, no. 612, Geological Survey of Japan, AIST
- 32) 澤井祐紀 (2014a) 古地震研究において珪藻化石分析が果たす役割. *Diatom*, 30, pp.57-74
- 33) 澤井祐紀 (2014b) 津波堆積物のはぎ取り標本の作製. *GSJ 地質ニュース*, 3, pp.3
- 34) 澤井祐紀 (2014c) 教育・普及活動のための津波堆積物のはぎ取り標本. *GSJ 地質ニュース*, 3, pp.53-59
- 35) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2010) 活断層・古地震研究報告, 10, 194p.

1960年チリ地震および2004年スマトラ沖地震による津波堆積物

かまたき たかのぶ
鎌滝 孝信*

Key Word

1960年チリ地震, 2004年スマトラ沖地震, 津波, 津波堆積物

1 はじめに

歴史記録以前に発生した地震・津波に関する情報を津波堆積物から明らかにし、海溝型巨大地震の履歴を復元する研究は国内外で数多く実施されている¹⁾。国内において津波堆積物は、千島海溝沿岸域²⁾、日本海溝沿岸域^{3)・4)}、相模トラフ沿岸域⁵⁾、駿河～南海トラフ沿岸域⁶⁾、沖縄トラフや琉球海溝⁷⁾などから数多く報告されている。また、それら津波堆積物を使って過去に生じた巨大海溝型地震の履歴や浸水範囲を推定する研究も数多くおこなわれている^{2)・8)}。これら津波堆積物を手がかりとした過去の地震津波に関する調査は、地震や津波被害の将来予測を行う上で重要な研究として認識されている。本稿では現生の津波堆積物の例として、マグニチュード9クラスの超巨大地震である1960年チリ地震および2004年スマトラ沖地震の際に形成された津波堆積物について紹介する。

2 1960年チリ地震

南米大陸の太平洋岸沿いに分布するチリ海溝では、ナスカプレートが南米プレートに年間8.4cmの速度で沈み込んでいる。1960年5月22日に発生したチリ地震(Mw 9.5)は、この海溝沿いを震源としており、観測史上世界最大規模の海溝型地震とされる。この地震によって引き起こされた津波は、震源付近のチリ中南部の太平洋岸のみならず太平洋を伝わり、北米大陸太平洋岸やハワイ、日本など環太平洋の国々に大きな被害をもたらし、日本では岩手県や宮城県を中心に100名以上の犠牲者を出した⁹⁾。1960年チリ地震の震源域を含むチリ海溝南部では、歴史記録からは1575年、1737年、1837年、1960年に巨大地震が発生し、その平均的な再

来間隔は100～150年とされている¹⁰⁾。

3 1960年チリ地震による津波堆積物

1960年チリ地震による津波堆積物に関しては、日本でも東北地方太平洋岸で発生直後に詳細な調査がおこなわれた¹¹⁾。

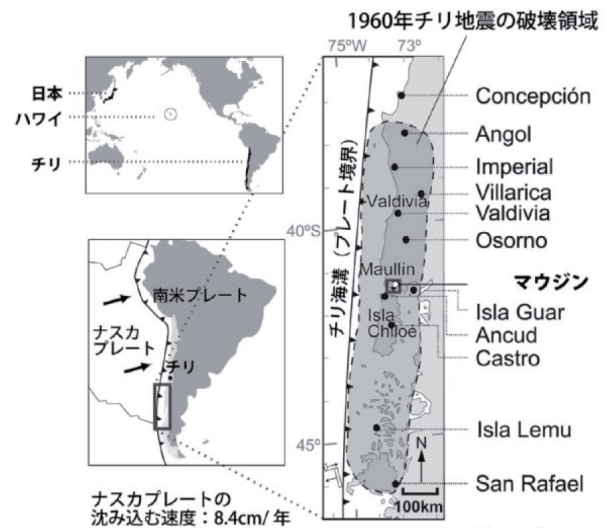


図-1 1960年チリ地震の震源域と調査地域 (Cisternas ほか, 2006より)

チリ中南部太平洋岸のマウジン (Maullin) は、チリ中南部の都市プエルト・モン (Puerto Montt) から約70km西方に位置し、1960年チリ地震の震源域に近く大きな被害を受けた地域である。マウジンからみてマウジン川を挟んだ対岸のチューヤケン (Chuyaquen) は塩性湿地が発達する。宍倉ほか¹²⁾や Cisternas et al.^{13)・14)}は、チューヤケンの塩性湿地において、トレンチ調査をおこない、そこにみら

*秋田大学地域創生センター 特任准教授

れる砂質堆積物の記載と試料の採取をおこなった。調査地における地表直下の地層は、土壌および泥炭からなる細粒堆積物と、砂からなる粗粒堆積物の互層からなる。湿地では通常泥炭質の土壌が堆積するが、1960年チリ地震の際には、津波によって海から運ばれてきた砂が最大15cmの厚さで湿地表面を覆ったことが地元住民によって目撃されている¹²⁾。このことから、トレンチ壁面に観察される砂質堆積物の中で最上部にみられる砂層は、1960年チリ地震における津波堆積物と考えられる(図-2)。また、上から2枚目の砂層は、1575年の津波で形成されたと考えられている^{12), 13), 14)}。本稿では、1960年チリ地震によって形成された津波堆積物を以下に紹介する。

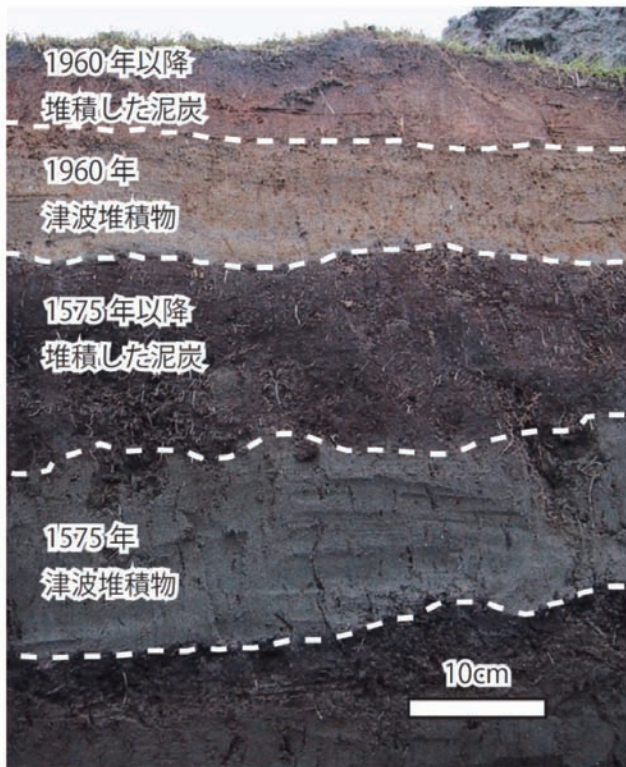


図-2 トレンチ壁面にみられる津波堆積物

ここでみられる1960年チリ地震による津波堆積物の特徴は、(1) 基底部に明瞭な侵食面をもって下位の泥炭層を覆い、(2) 低角の斜交層理がみられる中粒-細粒砂、(3) 植物片を含む細粒砂の順に重なり、(4) 泥炭層によって覆われる(図-3および図-4)。このような堆積物の特徴は、北海道東部の藻散布沼における津波堆積物¹⁵⁾や、後述する2004年スマトラ沖地震津波による津波堆積物¹⁶⁾の特徴と良く似ている。海-陸方向における津波堆積物の層厚や層相の変化をみると、現在の海岸線から約1km内陸に位置するトレンチでは、1960年津波堆積物

の厚さは、最も海側に位置するトレンチの約10cm(図-3)から約4cm(図-4)へと減少する。また、堆積物の粒径もやや細粒化する。このように津波堆積物の一般的特徴とされる、陸域方向へと厚さが減少し粒径が細粒化するという特徴もみられる。

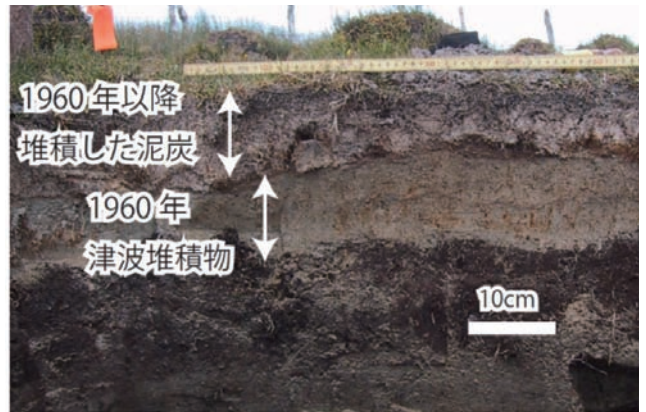


図-3 海に近いトレンチにみられる1960年チリ地震による津波堆積物

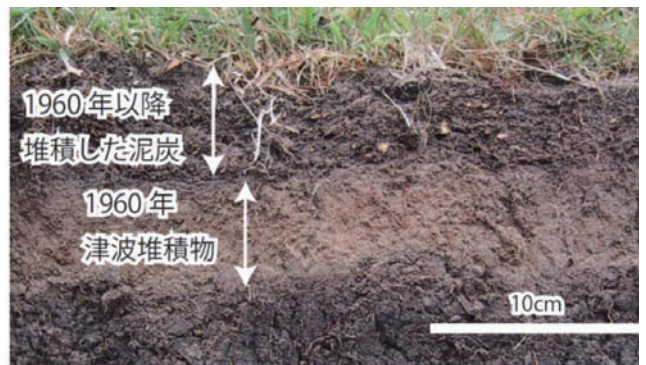


図-4 海から離れたトレンチにみられる1960年チリ地震による津波堆積物

トレンチ壁面における上から2枚目の砂層(図-2)も、1960年津波堆積物と同様の内部構造の特徴をもち、さらに海陸方向での層相、層厚変化も同様の特徴を示す。したがってこの砂質堆積物も津波堆積物と考えられる。この砂質堆積物の直下の泥炭層から得られた炭質物試料の14C年代値から、この砂層は1575年の地震津波によって形成されたと解釈されている^{12), 13), 14)}。

4 2004年スマトラ沖地震

2004年12月26日にスマトラ島北西沖で発生した地震(Mw 9.1)は、スマトラ島北端バンダアチェ(Banda Aceh)市の南南東約250kmの海底下約30kmで発生した。地震の規模は1964年アラスカ地震以降では世界最大で、余震域はスマトラ島北部か

らインド領アンダマン諸島まで、約1,000 km に及んだ (図-5)。

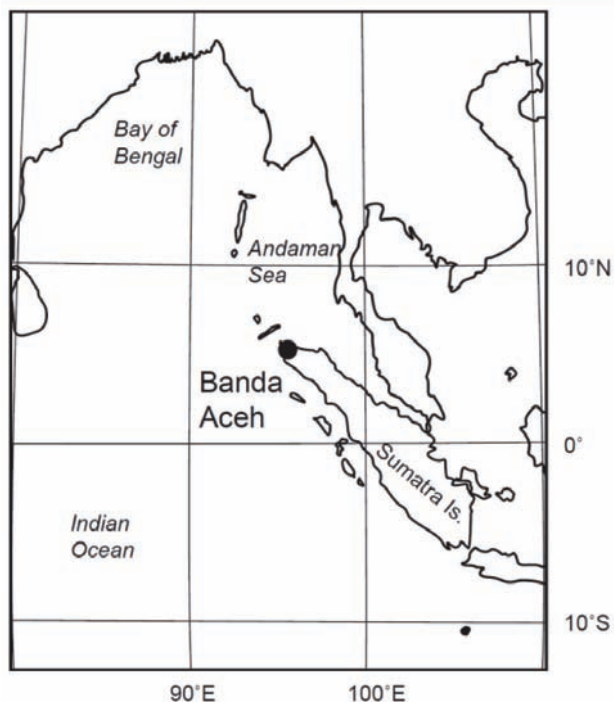


図-5 2004年スマトラ沖地震における津波堆積物調査地域周辺 (鎌滝ほか, 2005より)

スマトラ沖地震は大津波を引き起こし、インド洋沿岸諸国に甚大な被害をもたらした。この地域は、インド洋プレートが年間6cmの割合で東方へ移動し、スンダ海溝においてアンダマン・ニコバル諸島やインドネシア各島が載るユーラシアプレートの下に沈み込む場所に位置する (図-5)。最近の約200年でスマトラ島西方沖では、津波を伴う地震が1797年, 1833年, 1843年, 1861年, 1907年に発生している¹⁷⁾。

5 2004年スマトラ沖地震による津波堆積物

津波の浸水域には、「津波堆積物」として材やヤシの実などの浮遊物の他に、海から運ばれたと思われる直径1mを越えるサンゴの塊や岩石、すなわち「津波石」(図-6)、そして海浜砂を主体とする「津波砂層」(図-7および図-8)が残されていた。津波堆積物の詳しい調査結果は、鎌滝ほか¹⁶⁾や Moore et al.¹⁸⁾を参照されたい。そこでは、海岸から内陸方向へと流れと同じ方向の測線を3カ所を設定し、それぞれの測線沿いにおおよそ100~50m間隔でトレンチを掘削し、堆積物表面から埋没土壌(津波



図-6 2004年スマトラ沖地震津波による「津波石」

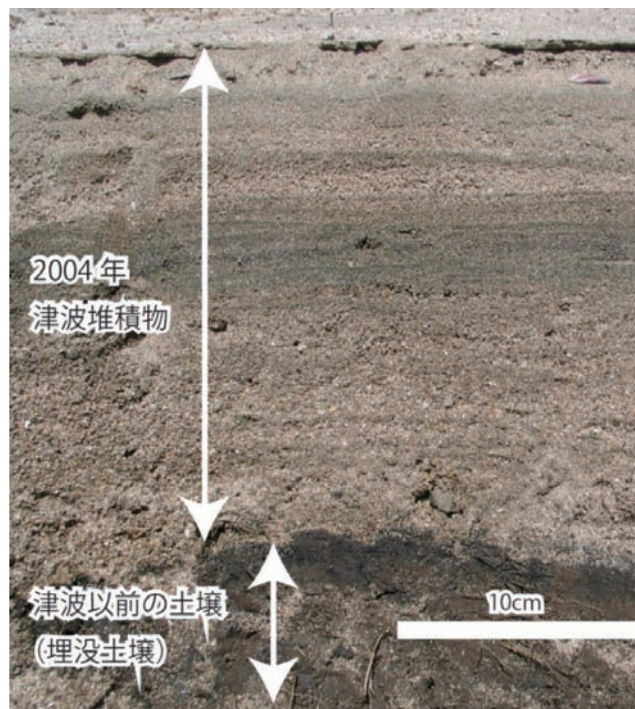


図-7 2004年スマトラ沖地震による津波堆積物 (海岸から180m程度内陸側)

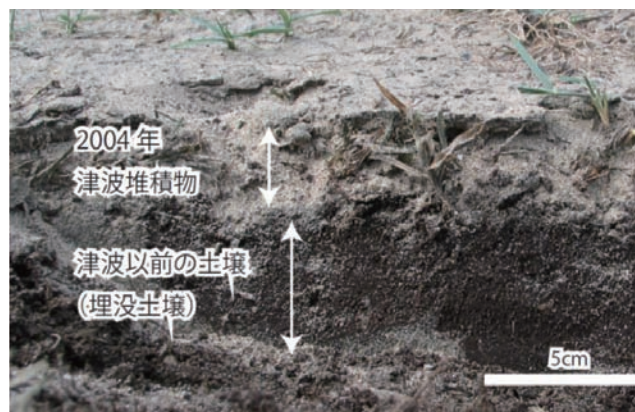


図-8 2004年スマトラ沖地震による津波堆積物 (海岸から500m程度内陸側)

襲来以前の地表面) までの堆積物を観察している。

2004年スマトラ沖地震の津波によって形成された堆積物の厚さは0~70cmで、堆積物の大部分は貝殻やサンゴ片を含む海浜砂からなり、土壌起源のものと思われる直径数mmの偽礫(リップアップクラスト)を含む^{16), 18)}。また、津波堆積物には複数のユニットが観察され、上位のユニットが下位のユニットを削剥する構造がみられ、複数回の侵食、堆積作用によって形成されたことが示唆される。1枚の堆積ユニットは正級化構造を示すものが多くみられ、全体的には上方細粒化する。津波堆積物の厚さは微地形の起伏等に影響され変化に富むが、総じて海岸近くから陸方向へと減少し薄層化する傾向を示す(図-7および図-8)。このような特徴は、前述の1960年チリ地震津波によって形成された津波堆積物^{12), 13), 14)}や北海道東部の500年間隔の地震津波によって形成された津波堆積物¹⁵⁾などと同様で、津波の遡上に対応した営力の減衰過程を示していると解釈でき、潮間帯から陸域に遡上した津波堆積物の一般的な特徴のひとつといえよう。

- 10) Lomnitz, C. : 「Major earthquakes of Chile: a historical survey, 1535-1960」, 「Seismological Research Letters」, 59, 938-960, 2004
- 11) 今野円蔵・岩井淳一・高柳洋吉・中川久夫・小貴義男・柴田豊吉・三位秀夫・北村 信・小高民夫・片岡 純 : 「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」, 「東北大学理学部地質学古生物学教室邦文報告」, 52, 1-45, 1961
- 12) 穴倉正展・鎌滝孝信・澤井祐紀・佐竹健治 : 「チリ中南部における古地震・古津波調査—2003年, 2004年調査報告—」, 「活断層・古地震研究報告」, 4, 265-280, 2004
- 13) Cisternas, M., Atwater, B. F., Torrejon, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., Eipert, A., Youton, C., Salgado, I., Kamataki, T., Shishikura, M., Rajendran, C. P., Malik, J. K., Rizal, Y., and Husni, M. : 「Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake」. 「Nature」, 437, 404-407, 2005
- 14) Cisternas, M.・Atwater, B. F.・鎌滝孝信・澤井祐紀・穴倉正展 : 「1960年チリ地震震源域でくり返し生じた過去の巨大地震」, 「歴史地震」, 21, 87-91, 2006
- 15) 鎌滝孝信・澤井祐紀・穴倉正展・佐竹健治・山口正秋・松本 弾 : 「潮間帯における津波堆積物の分布様式: 北海道東部, 藻敷布沼の例」, 「活断層・古地震研究報告」, 4, 31-43, 2004
- 16) 鎌滝孝信・西村裕一・Gelfenbaum, G.・Moore, A.・Toriyono, R. : 「2004年スマトラ・アンダマン地震津波調査報告: スマトラ島北西端における津波波高と堆積物の分布」, 「活断層・古地震研究報告」, 5, 201-208, 2005
- 17) Soloviev, S. L. and Go, Ch. N. : 「A catalogue of tsunamis on the western shore of the Pacific Ocean」, 「Academy of Sciences of the USSR, Nauka Publishing House」, 1974
- 18) Moore, A., Nishimura, Y., Gelfenbaum, G., Kamataki, T., and Triyono, R. : 「Sedimentary deposits of the 26 December 2004 tsunami on the northwest coast of Aceh, Indonesia」, 「Earth Planets and Space」, 58, 253-258, 2006

〈参考文献〉

- 1) 西村裕一 : 「津波堆積物の時空分布に基づく古地震の調査研究」, 「地震第2輯」, 61, S497-S508, 2009
- 2) Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B. F., Shigeno, K., and Yamaki, S. : 「Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench」, 「Nature」, 424, 660-663, 2003
- 3) Sawai, Y., Fujii, Y., Fujiwara, O., Kamataki, T., Komatsubara, J., Okamura, Y., Satake, K., Shishikura, M. : 「Marine incursions of the past 1500 years and evidence of tsunamis at Suijin-numa, a coastal lake facing the Japan Trench」, 「The Holocene」, 18, 517-528, 2008
- 4) 地震調査研究推進本部 : 「宮城県沖地震における重点的調査観測報告書」, 2009
- 5) 藤原 治・鎌滝孝信・内田淳一・阿部恒平・原口 強 : 「房総半島南東岸の完新世前期の溺れ谷堆積物にみられる地震隆起の痕跡と津波堆積物」, 「第四紀研究」, 48, 1-10, 2009
- 6) Komatsubara, J., Fujiwara, O., Takada, K., Sawai, Y., Aung, T. T., and Kamataki, T. : 「Historical tsunamis and storms recorded in a coastal lowland, Shizuoka Prefecture, along the Pacific Coast of Japan」, 「Sedimentology」, 55, 1703-1716, 2008
- 7) Goto, K., Kawana, T., and Imamura, F. : 「Historical and geological evidence of boulders deposited by tsunamis, southern Ryukyu Islands, Japan」, 「Earth-Science Reviews」, 102, 77-99, 2010
- 8) Atwater, B. F. : 「Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State」, 「Science」, 236, 942-944, 1987
- 9) 渡辺偉夫 : 「日本被害津波総覧(第2版)」, 「東京大学出版会」, 1998

津波堆積物調査事例

はらぐち つよし*
原口 強

Key Word

津波堆積物, 東日本大震災津波, 液状化, 内湾津波堆積物, ベッドフォーム, 礫質津波堆積物, 古津波堆積物, ジオスライサー, 海水準変動, 海岸地形発達史

1 はじめに

津波堆積物とその他の堆積物は、どのように区別するのか。台風、高潮の堆積物との違いは何なのか。堆積物だけで津波起源か台風・高潮起源の堆積物かを正確に区別することは難しい。その場所が津波による堆積場としての地形的な特徴や環境があり、それが過去から現在まで保存されているか、津波堆積物の供給源となる条件が揃っているか、堆積構造だけでなく例えば含有する珪藻などの特徴など、様々な物証や地形的条件を総合的に加味することで、津波堆積物は認定可能である。

そこで、本稿では東日本大震災津波(311東北津波)で確認された津波堆積物や、古津波堆積物の調査事例を示すことで、その期待に応えたい。最後にそれらの事例研究を踏まえ、津波堆積物調査の考え方について私見を述べる。

2 津波堆積物の調査事例¹⁾

2.1 陸上で観察された311東北津波堆積物

1) 液状化と津波堆積物¹⁾

仙台平野の荒浜付近では沿岸部で浸水高10 mに達する津波が来襲し、内陸3 km以上浸水した(図1)。

津波堆積物の厚さは海岸近くで5~30 cm程度で、内陸に向かって薄層化する。粒径は主に細粒~中粒砂が主体、水田では砂層の上に厚さ数 cmの泥が堆積していることなどが認められた。

当初、これらは海岸付近の砂浜の砂が津波によって運搬され堆積したと考えた。ところが現地には、水田のあちこちで液状化に伴う噴砂跡が見られた。よく観察すると、本来凸型に膨らんでいるはずの噴砂丘の中央部が、逆に凹んでいる(図2)。さらに津波後の衛星画像からは、砂が箒で掃かれたように

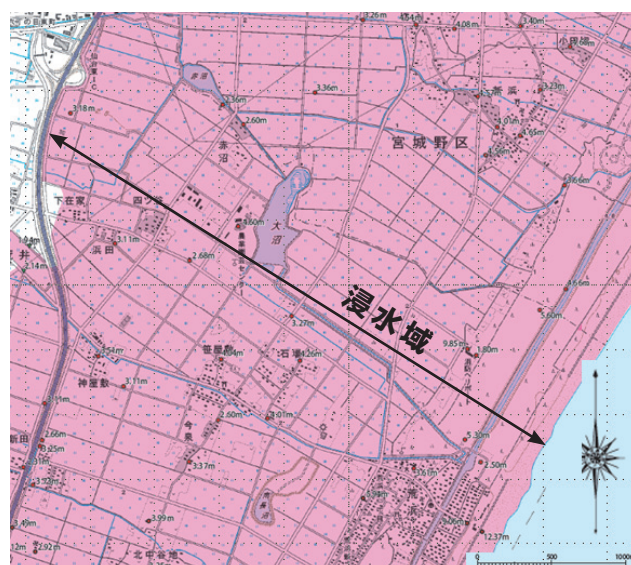


図1 荒浜付近の津波浸水域

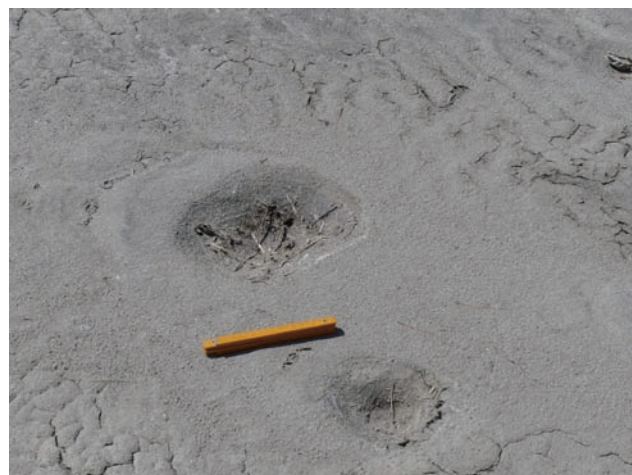


図2 表面が侵食された噴砂跡

*大阪市立大学

水田の表面に広がっている跡 (図3) が確認される。砂は水田の表面に均等にあるのではなく、水田の畦に近い隅の部分に厚く堆積し、砂が厚い水田ほど噴砂跡が多い。



図3 津波により水田表面の砂の分布

このことは、地震後にまず地盤の液状化が発生して噴砂丘ができ、その後噴砂丘は津波により侵食され、その砂が津波により運搬されたと判断される。さらに液状化の範囲を丁寧にマッピングすると、旧河道とみられる大沼の延長部の埋立地 (図4) に集中していることもよみとれる。すなわち津波堆積物の供給源は液状化に伴う噴砂が主体となっていると考えられる。



図4 旧河道に連続する液状化範囲

2.2 内湾底に記録された津波堆積物

宮城県気仙沼港内では、311東北津波前後の詳細な海底地形データ (図5) ⁴⁾ がある。津波による港

内の堆積域でコアを採取し、X線CTや分光測色計、粒度分析等によって分析し・記載した。

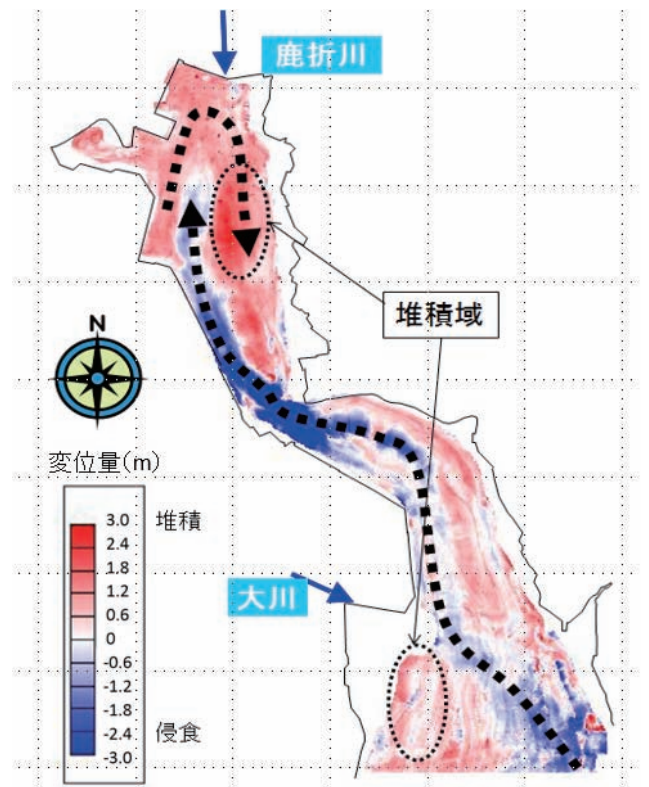


図5 311東北津波による気仙沼港の地形変化

その結果、①中粒砂を主体としていること、②下部に明瞭な浸食面をもつこと、③下部は塊状・無層理の砂層となること、④上部は平行ラミナの発達する砂層となること、⑤CT画像や含砂率等のパターンから、少なくとも4回の堆積過程に変動があること (図6)、などの津波による堆積構造が地層中に確認された。

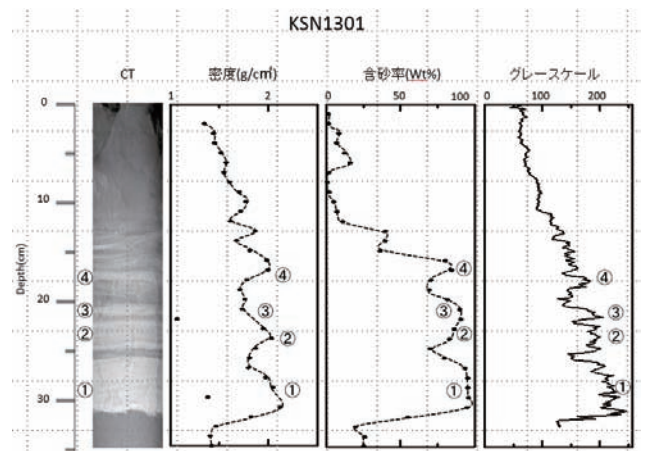


図6 内湾津波堆積物の例

2.3 津波により形成された海底地形

気仙沼西湾湾口部の水深12mの海底には、津波

時に形成された、波長 20m、波高 2m に及ぶベッドフォーム (図 7)⁵⁾ が確認された。

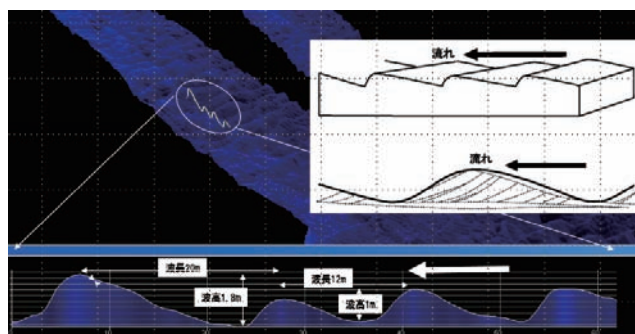
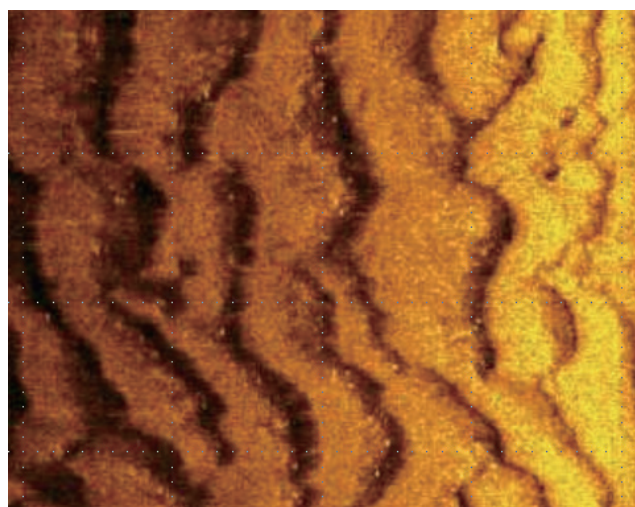


図 7 津波で形成されたベッドフォーム

ベッドフォームの一部を掘削すると海浜礫を含む粗粒堆積物 (図 8) が確認され、津波前の砂と泥を主体とした底質から大きく変化していた。

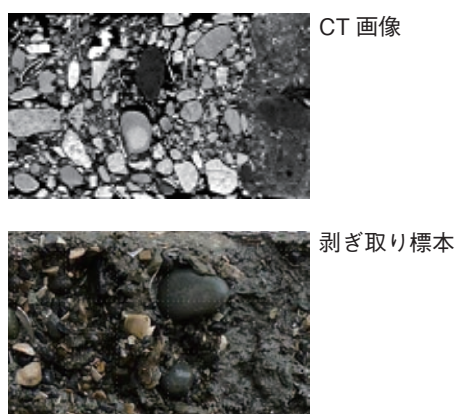


図 8 海底で確認された礫質津波堆積物

2.4 礫質津波堆積物

海浜は砂浜だけではなく、礫浜 (図 9) もある。311 東北津波では礫浜背後の段丘上に打上げられた礫質津波堆積物⁶⁾ (図 10) も観察された。点在する

海浜礫で特徴づけられる。



図 9 礫浜と背後の段丘



図 10 段丘面上の礫質津波堆積物

2.5 古津波堆積物の研究事例¹⁾

三陸海岸は約 22,000 人の死者を出した 1896 年の明治三陸津波をはじめとして、日本海溝沿いで発生する巨大地震に伴う津波被害を、歴史上繰り返し受けてきたことが知られている。さらに同地域は、1700 年カスケード津波や 1960 年チリ地震津波などの遠地津波でも被災している。

筆者は 2004 年から三陸海岸において、過去の津波堆積物から、過去数千年間における日本海溝沿いでの巨大地震の地震サイクルの解明を目的とした研究を行ってきた。

1) 陸上部での津波堆積物¹⁾

調査は三陸沿岸域の内湾や海岸沿いの湿地などを対象に実施し、ボーリングやジオスライサーを使って地層を採取した。

そのうち宮古市葉の子浜地区は 311 東北津波によって浸水した地域であり、調査当時、ジオスライ

サーで採取された地層断面で、泥炭層に挟まれた砂層中に10cm大の礫を含む砂層（図11）が見られた。

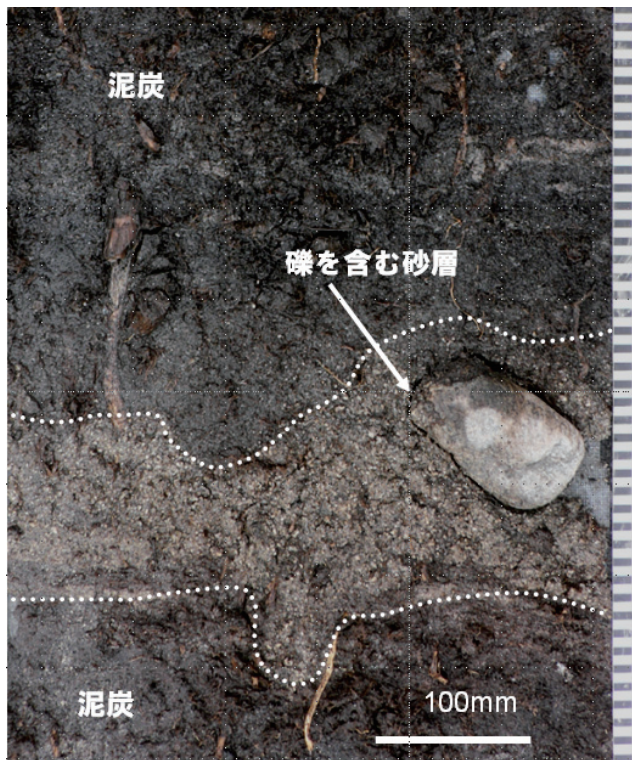


図11 宮古市葉の子浜地区の古津波堆積物

大槌町吉里吉里湿地も311東北津波によって浸水した地域（図12）であり、調査当時、泥炭層に挟まれた砂層（図13）が複数枚確認されている。

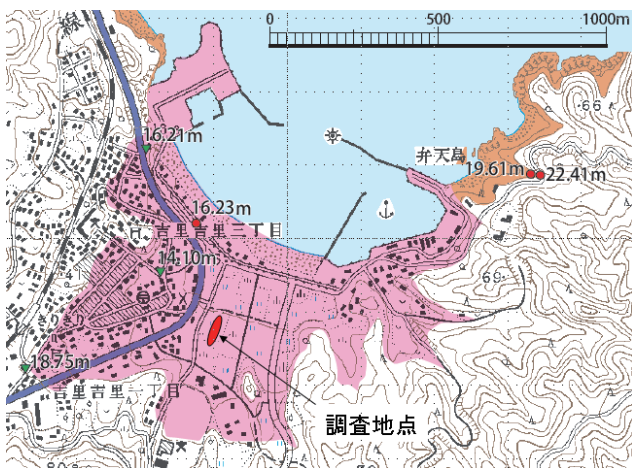


図12 吉里吉里湿地の浸水域と調査位置

大船渡市碁石浜背後の休耕田（図14）では、碁石浜の礫と酷似した2～5mmの黒色扁平礫を多く含む層（図15）がコアの地層断面で確認されている。

気仙沼湾口部に位置する崎野地区（図16）は311東北津波の被害を受けたが、津波前に過去の津波堆積物調査を実施している。

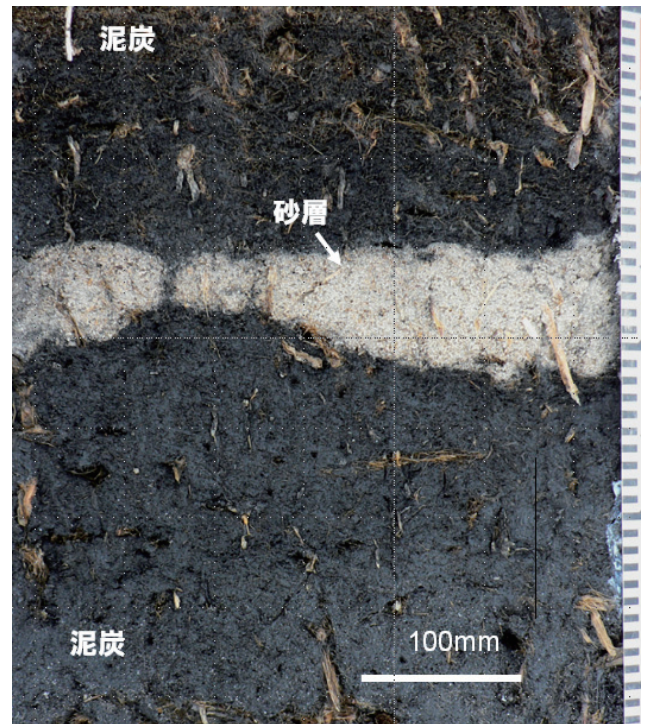


図13 吉里吉里湿地の古津波堆積物



図14 大船渡市碁石の浸水域と調査位置

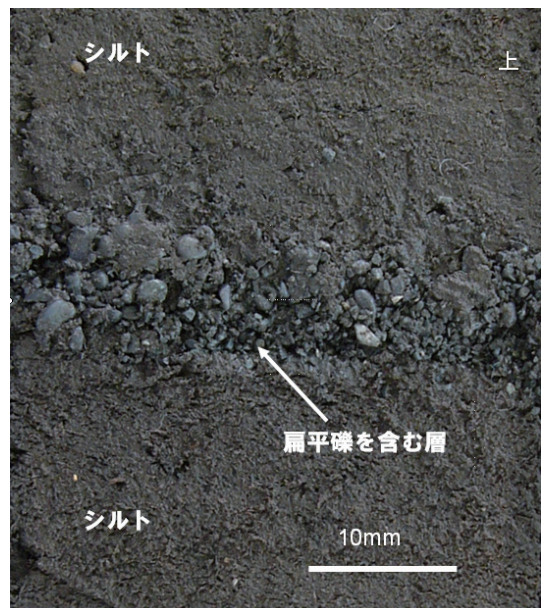


図15 大船渡市碁石の古津波堆積物

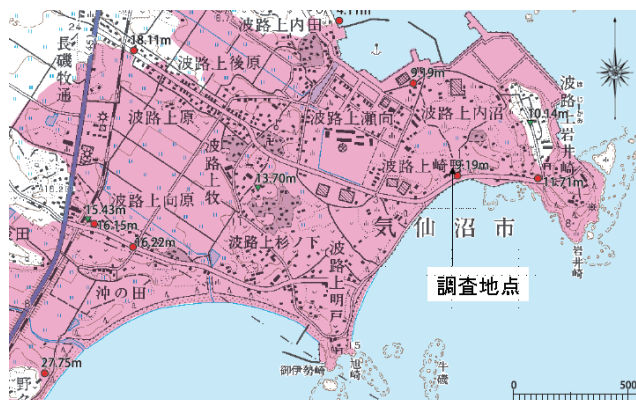


図 16 気仙沼市崎野の浸水域と調査位置

当時の調査の結果、ジオスライサーで採取した地層断面において、泥炭層の中に層厚 20cm で大量の貝殻を含む砂層（図 17）が確認され、その中にはネズミの歯も含まれていた。

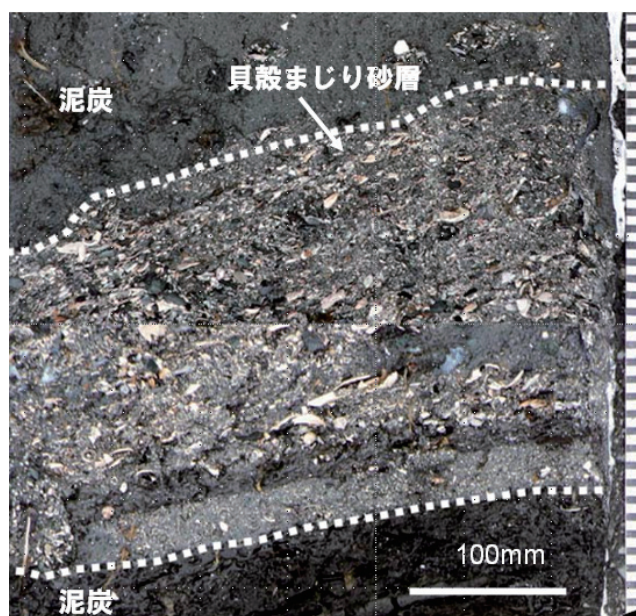


図 17 宮城県気仙沼市崎野の古津波堆積物

2) 浅海域での津波堆積物調査¹⁾

内湾は基本的に堆積域であり、詳細な津波イベントが保存されている可能性が高く、現世の内湾において津波堆積物を対象に調査することとした。予察的な検討として、青森県、岩手県、宮城県内の 300 を超える漁港・港湾施設の海上ボーリングデータを収集し、柱状図からイベント堆積物の解読作業をおこなった。

その結果、おおよそ宮古湾より北側の海域では、岩盤もしくは砂や礫などの粗い地層が表層から分布していること、宮古湾を含む南側の宮城県気仙沼付近までのリアス式海岸の内湾奥には泥質の堆積物が主に分布していることが判明した。さらに個々の柱

状図から、連続する海成粘土層中に礫や砂が薄層として分布する地点が複数あることが明らかとなった。

津波イベントの認定では、波浪や洪水等による粗粒堆積物が大きなノイズとなる。このため、①地形的に波浪の影響を受けにくいこと、②大きな流入河川がないこと、③調査地点の水深が深く、平常時に河川からの砂質物が到達しにくい基本的には泥層堆積域であること、等の条件を考慮した。こうしたノイズを可能な限り除去できる最も優先順位の高い場所として大槌湾を選定し、ボーリング調査（図 18）を行った。



図 18 大槌湾の浸水域と調査位置

大槌湾は三陸リアス式海岸の一部をなし、繰り返す津波被害を受けてきた三陸海岸の主要な位置を占める。大槌湾はおおよそ東西方向に伸びており、幅 1.5～1.8km、奥行き約 5km の形状を示す。湾は東北東から西南西方向に湾入し、湾の中央部がやや細くこれより湾奥側で北西方向と南東方向に緩やかに分岐している。波浪の卓越方向は北東方向であることから、奥の港は波浪の影響を受けにくい天然の良港となっている。

大槌湾の海底地形は湾口部で水深 50m、湾奥部は水深 2～3m となる。大槌川の谷筋はそのまま湾内の最深ラインに連続し、全体として湾のやや北側を通過して太平洋に出ている。この最深谷部が埋没谷となって堆積物が厚く堆積し、多くの津波イベントを保存していると推定された。

地層採取地点は水深 10m 程度の湾奥中央部である。採取コア中に複数層準津波イベントが認定された。最も厚い堆積物は厚さ 2m に及ぶもので粘板岩とこれに張り付いた牡蠣（図 19 a）や軟らかい泥の偽礫（マッドクラスト）を多く含む粗砂が主体の地層（図 19 b）である。汀線付近の牡蠣が岩に張り付いたまま津波により剥ぎ取られ、水深 20 m 付近の

泥質海底まで運ばれて堆積したものと判断される。

シルト層に挟まれた砂礫の層（図 20）も随所に確認される。内湾の堆積環境において、砂の上に礫が堆積するなどといった構造は極めて特異なもので、改めて津波時の異常な堆積環境が想定される。

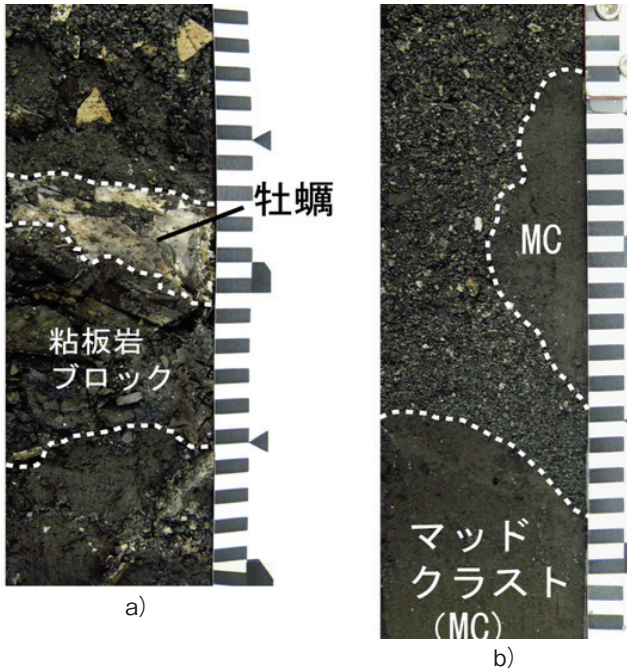


図 19 古津波堆積物：a) 牡蠣が付着した粘板岩ブロックと b) 軟らかい泥の偽礫（マッドクラスト）

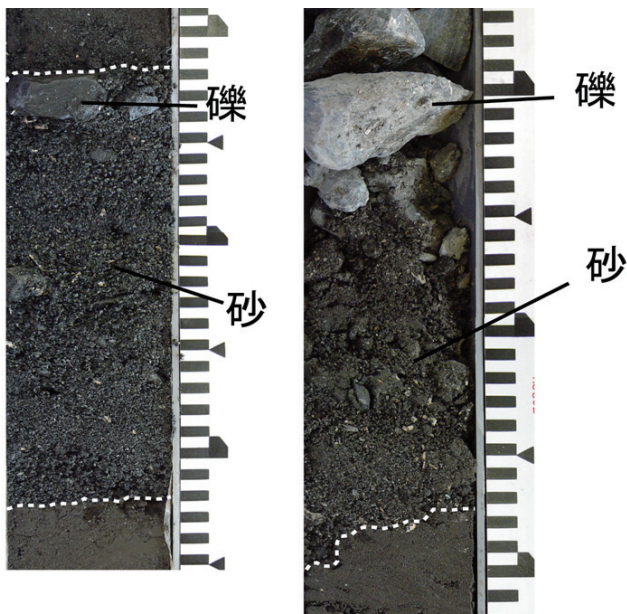


図 20 古津波堆積物：シルト層に挟まれた砂礫

3 津波堆積物調査の考え方

3.1 「縄文海進」と海水準変動の正しい理解

津波堆積物調査では、津波当時の海水準の理解が必要である。例えば約 2 万年前の海水準は現在より 100m 以上低く、津波があっても現在の海岸線付近

にまで津波が達することはない。津波堆積物調査では、現在と海水準が同程度であることが大前提である。この際対象とする年代としては約 6000 年前以降である。

関東平野では約 6000 年前の汀線が内陸部の標高数 m の場所に残っており、「縄文海進」として知られている。このためその時代、現在より海面が数 m 高かったと誤解して認識されていることが多い。しかし、世界各地で観察された海水準の記録⁷⁾（図 21）から、カナダでは同時代の汀線が海拔 110 m、イギリスではマイナス 8m 程度であることが読み取れる。

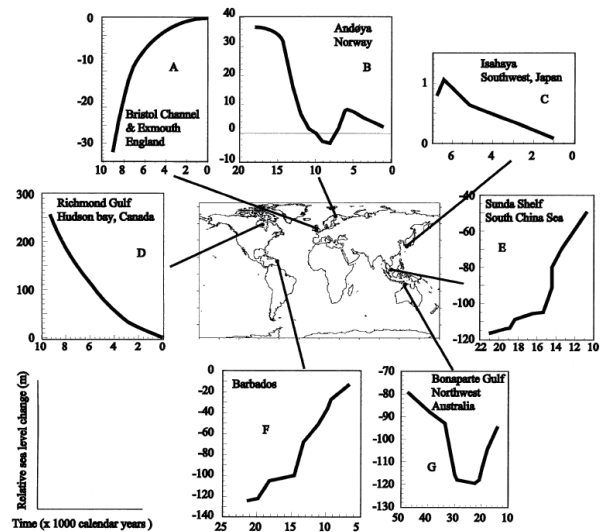


図 21 世界各地で観察された海水準の記録⁷⁾

すなわち汀線位置から認定されるローカルな相対的の海水準と絶対的の海水準は、明確に異なる。例えば西九州では当時の汀線は現在と同程度、壱岐・対馬の大陸棚が広がる九州西方沖の島嶼部ではマイナスとなり、関東地方に比べ数 m 程度の違いがある。日本全国で一律に、関東と同じ「縄文海進」があったのではない。

津波堆積物調査ではこの数 m が重要で、地域毎の相対的な海水準の整理と理解が最初に必要である。

3.2 過去数千年間の海岸地形発達史の理解

沿岸域の過去の地形発達史の理解も重要である。例えば、貞観地震津波当時、仙台平野の海岸線は現在より約 1 km 内陸にあった。房総半島九十九里海岸平野の地形発達史⁸⁾（図 22）をみると、約 6000 年前の汀線位置は現在より数 km も内陸にあり、時代とともに急激に砂浜が沖側へ前進していることが読み取れる。

このように海水準が一定であっても後背流域から

の土砂供給量や沿岸流の影響，さらに地盤の隆起などによって，海浜地形は大きく変化する。

津波堆積物調査ではこうした変化する海陸分布の正しい理解の上立って，津波起源か否かの判断をする必要がある。

4 あとがき

堆積物だけで津波起源か台風・高潮起源の堆積物かを正確に区別することは難しい。しかし，地形発達や環境変遷，堆積構造，微化石データなどを多面的検討することで，津波堆積物は認定可能である。

津波堆積物調査の成果を防災に反映させるには，津波浸水シミュレーション技術を含めた海岸工学の知見が極めて重要となってくる。

〈参考文献〉

- 1) 原口強，堆積物から紐解く巨大地震津波の履歴，土と岩，第60号，pp.4-13，2012.
- 2) 原口強，岩松暉，東日本大震災津波詳細地図（上・下巻），古今書院，2011.
- 3) 原口強，岩松暉，東日本大震災津波詳細地図・改訂保存版，2013
- 4) 原口強・高橋智幸・久松力人・森下祐・佐々木いたる，2012. 2010年チリ中部地震津波および2011年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾での地形変化に関する現地調査，土木学会論文集B2（海洋工学）67-2，241-245
- 5) Haraguchi, T., Goto, K., Sato, M., Yoshinaga, Y., Yamaguchi, N., Takahashi, T., 2013, Large bedform generated by the 2011 Tohoku-oki tsunami at Kesenuma Bay, Japan. Marine Geology, Vol. 335, 200-205.
- 6) 天野 格・香西 篤・原口 強，2014. 礫質津波堆積物の認定法，土木学会論文集B2（海洋工学）Vol. 70, No. 2, 2014, I_266-I_270
- 7) 横山祐典，最終氷期のグローバルな氷床量変動と人類の移動，地学雑誌，111(6)pp.883-899，2002
- 8) 森脇広，九十九里浜平野の地形発達史，第四紀研究，18(1) pp.1-16，1979

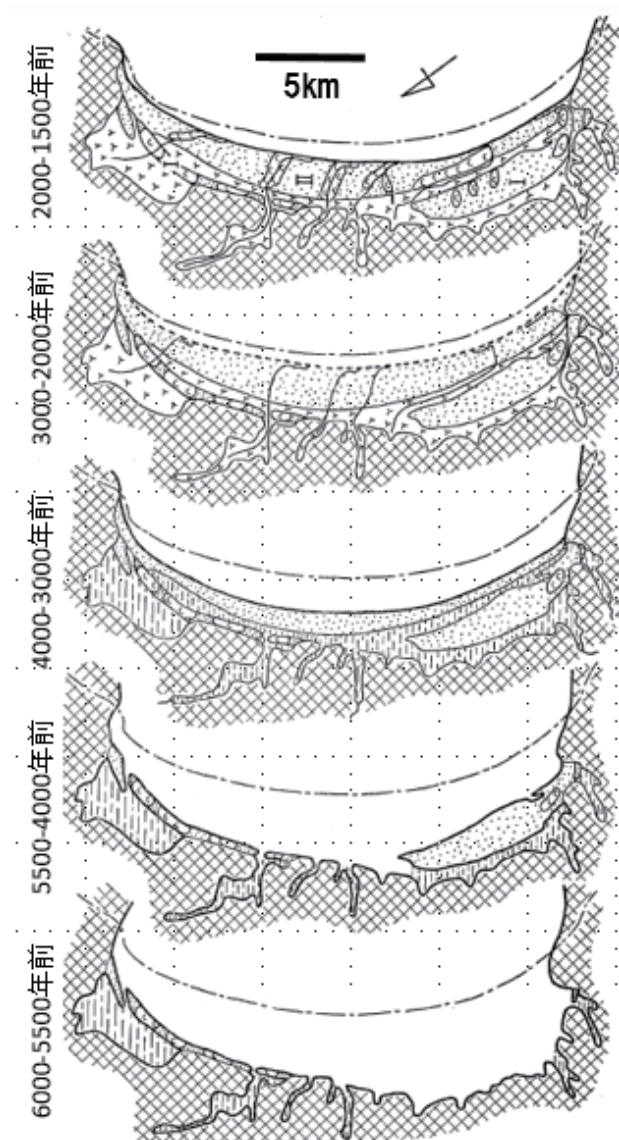


図22 九十九里浜平野の地形発達史^{B)}

延宝5年(1677)房総沖地震津波の経験は 元禄16年(1703)関東地震の津波死者を 減らすのに役立ったか？

つじ よしのぶ*
都司 嘉宣*

Key Word

延宝5年房総沖地震津波, 元禄16年南関東地震津波, 津波体験の有効性, 歴史津波, 歴史地震, 津波による死者, プレート間地震

はじめに

房総半島の太平洋に面した海岸は、江戸時代の前半に2回大きな津波に襲われている。すなわち、延宝五年十月九日(1677年11月4日)の房総沖地震(以下「延宝地震」と呼ぶ)による津波と、元禄十六年十一月二十三日(1703年12月31日)の南関東地震(以下「元禄地震」)による津波である。羽鳥(1975)は延宝地震と元禄地震の震源域を図1のように推定している。

図1によると、延宝地震は、1年に約9cmずつ東進してくる太平洋プレートが、日本海溝のところで北米プレートの下に沈み込んだところで起きたプレート境界型巨大地震の一つであることがわかる。さらに図1によると、この地震による津波の被害は、震源域に近い房総半島の海岸だけではなく、茨城県、福島県、宮城県の岩沼にまで及んでいることがわかる。いっぽう、元禄地震は南方海域から一年に約5cmの速度で北上してくるフィリピン海プレートが、相模トラフの海溝軸から北米プレートの下に沈み込んだところで起きた、やはりプレート境界型巨大地震であることがわかる。元禄地震は、大正12年(1923)の大正関東地震と同じプレート境界面での滑りによって起きたことから、ともに「南関東の巨大地震」という同じ系列に属する巨大地震である。

さて、この2つの地震はともに房総半島などで多数の死者を出した大津波を伴っていた。そしてこの2つの津波の発生間隔はわずか26年である。ということは、房総半島の海岸線上の集落で元禄地震による津波を体験した人のうち、かなり大勢の人は、その26年前の延宝地震の津波を実体験していたことになる。2015年に住む我々にとって、奥尻島に大津波をもたらした北海道南西沖地震(1993年)はすでに22年前の出来事である。奥尻島に今住んでいる人々が津波の体験を忘れ去っていると言うことはあり得ない。住まいが流失し、肉親、友人を失った悲しい記憶はいまも生々しく記憶され、津波後に生まれた子供達にも語り継がれている。そうであるならば、1703年に房総半島で元禄地震の津波を再び体験した人々は「強い地震の後に津波が来ることがある」、「津波の時は高所に避難せよ」などの教訓を実体験のなかから得た知識を十分に身に付けてい

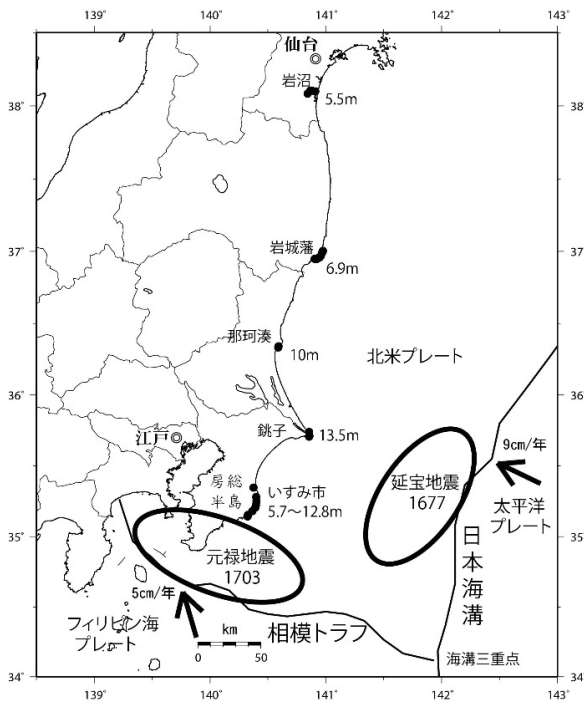


図1 延宝房総沖地震(1677)と元禄南関東地震(1703)の推定震源域(楕円形の範囲, 羽鳥, 1975) 黒丸は延宝房総沖地震の津波によって被害を生じた場所と、そこの津波の浸水高さを示す(都司ら, 2012-a, b)。

*公益財団法人 深田地質研究所 客員研究員

たはずなのである。その一方でわれわれは、元禄地震の津波によって多数の死者が房総半島で生じたことは知っている。例えば茂原市鷲山寺（じゅせんじ）の門前の大供養塔に、この九十九里海岸南部の地方で2150余人もの津波による溺死者があったことが刻まれている。このほか、房総半島各地で、多数の地震津波による犠牲者を生じたことが記録されている。

このように房総半島の各地で多数の地震津波の犠牲者を生じたという事実は、房総半島に住む人々にとって、26年前の津波体験は後で起きた1703年の元禄地震の津波犠牲者を減らすのに全く役に立たなかったことを意味するのだろうか？ 筆者は、当時房総半島に住んでいた人々が、実体験した災害から何の教訓も引き出せなかった、あるいは教訓を次の同じ種類の災害の被害軽減に役立てなかった、そのような愚かな人々であったとは、どうしても考えることが出来ないのである。わたしのこの「思いこみ」は客観性を持たない単なる私の願望に過ぎないのであるか？ そこで、事実によってこの点を徹底的に検証してみよう、というのが本稿を記した目的なのである。

2 延宝地震（1677）による津波被害

まず、第一の作業として、延宝地震（1677）による津波被害の実相を確認することから始めよう。延宝地震（1677）の津波による銚子以北の被害の発生場所と、津波浸水高さについては図1に示してある。房総半島における延宝地震（1677）による津波被害と浸水高さについては、筆者ら（都司ら、2012-a, b）が詳細に調査を行った。延宝地震の津波の被害記録のある場所は図2の白丸（○）で示した各点である。数字はその場所での延宝地震の津波の浸水高さを表している。

図2の白丸で示した津波による被害を生じた各集落の、家屋倒壊流失戸数、溺死者数については、江戸幕府の根本史料の一つである『玉露叢』（武者、1941, p882）に記載されている。延宝地震は地震動が弱い割に津波の大きな津波地震であった。このため地震の揺れによる倒壊家屋は無かったと考えられ、原文献に「倒家」とあるのは、津波による倒壊家屋と考えられる。以下では倒壊家屋と流失家屋を区別せず「倒家」と表現する。この二個の数字から、倒家1軒当たりの死者数を計算によって求めることが出来る。各被害発生集落について、この3つの被害数と、その集落での津波による海水の浸水標高をまとめると、表1が得られる。

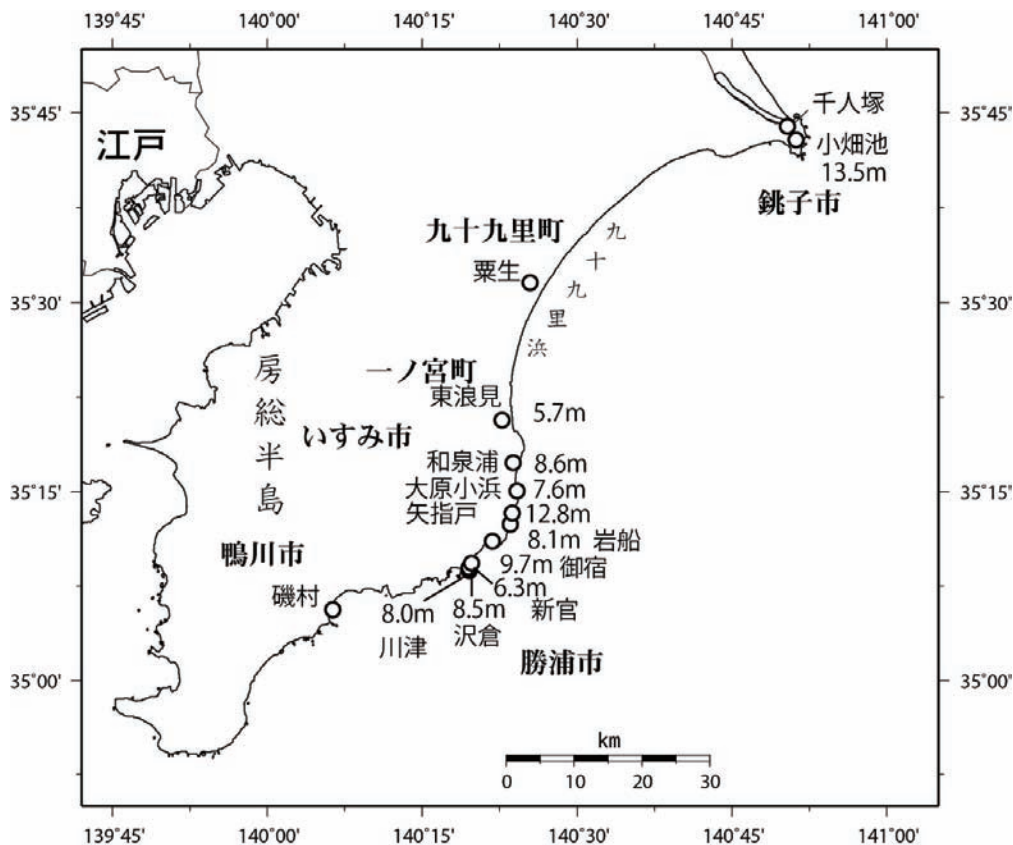


図2 延宝地震津波（1677）による房総半島での被害発生地点（○） 数字はその場所での津波浸水高さ（都司ら、2012-b）

	集落名	倒家	溺死者	倒家1軒当 溺死者数	津波浸水高
房総半島	東浪見	50軒	97人	1.94人	5.7m
	和泉浦	無数	13	—	8.6m
	大原小浜	25	9	0.36	7.6m
	矢指戸	25	13	0.52	12.8m
	岩船	40	57	1.43	8.1m
	御宿浦	30	63	2.10	9.7m
	新官	17	2	0.12	6.3m
	沢倉	11	2	0.18	8.5m
	川津	19	3	0.16	8.0m
		水戸領	89	36	0.40
	磐城領内	487	189	0.39	6.9m
	岩沼領	490	123	0.25	5.5m

表1 延宝房総沖地震津波（1677）による集落別の倒家（流失家屋を含む）、死者数、倒家1軒当たりの死者数、および津波浸水高さ

表1によると、房総半島で津波に被災した各集落では、津波による倒家1軒当たりの死者数は、0.12人から2.10人の間に収まっていることになる。津波警報もなく、教訓とすべき津波の先例もない集落が津波に襲われた場合には、倒家1軒当たりの死者数はおよそこのぐらいの数値になるのであると理解することが出来る。

3 元禄地震（1703）の津波被害

今回は、元禄地震（1703）の地震・津波による被害を見ておこう。注意すべきことは、元禄地震は大正関東震災（1923）と同じように地震のゆれそのものも大きく、津波とは無関係に地震の揺れによっても相当数の家屋倒壊、死者を生じたことである。元禄地震による房総半島海岸部での死者の総数は約4000人と推定される。これらの死者のうち、旧上総国の地域の津波による集落別の溺死者数は東京大学地震研究所（1982）発行の「新収 日本地震史料」のp174～218に掲載された「房総半島南部の元禄地震史料」（関東地区災害科学資料センター編）や、同書に掲載された各町村史の引用文によって知ることが出来る。房総半島のうち旧安房国（現在の館山市、南房総市、鴨川市、および鋸南町）に属する部分は、江戸時代には大名、旗本の領地がモザイクのように分散し、しかも被害数とその大名旗本毎に合算された数字だけが「楽只堂年録（らくしどうねんろく）」（東京大学地震研究所，1982，p1～22）の形で現在に残されているため、現在の地図上のどこ

で出た死者なのか判定するのがかなり困難である。しかし筆者は、この史料に集計合算された津波死者の数字が、どの集落で出た死者数であるのかをおよそ割り出すことに成功した。その1例だけをここに記しておこう。

元禄地震、および宝永地震（1707）の大名・旗本領の被害統計数字を網羅的に記録した「楽只堂年録」に次の四行の記載がある。

本多修理知行所安房国安房郡之内地震高浪ニ而損亡
安房国之内高三千石拾壹ケ村
一潰家三百八拾軒、内寺三ケ寺
一流家百九軒、流船五十二艘船具網共
一死人男女四十九人、損牛拾二疋 内牛拾壹疋、
馬壹疋

この古文書によると、旗本・本多修理は安房国安房郡（ほぼ現在の館山市）の十一個の村を所領として持っていて、その合計は三千石であった。この十一ヶ村で、元禄地震によって合計380軒が全壊し、109軒が流失し、死者49人であった、と言うのである。この三行目に「流家百九軒」とあるので、の十一個の村の中に津波の被害を受けた場所があることになる。では「本多氏が所領とする十一個の村」は今の地図のどこにあるのであろう？そこで筆者は、平凡社（1996）の「日本歴史地名大系 12 千葉県地名」の中の「安房国安房郡」の部分をしらみつぶしに読破した。江戸期には安房国安房郡には

80余りの村があった。そのなかで元禄16年当時の領主の名をすべて調べつくした。その結果、現在の館山市の、安布里、大綱、南条、大戸、作名、古茂口、永代(現在山萩)、小沼、坂足、伊戸、川名の11個の村が元禄16年ころ本多氏の所領であることが判明した。その各村の石高(こくだか、コメの生産量)を合計すると、2998.45石となった。これが上の文書の2行目にある「高三千石」であることは間違いなかった。電卓で11個の村の石高を合計した数字がほぼびたり3000となった時の筆者の感動は理解できるだろうか? この11個の村を現在の地図にプロットすると図3が得られる。

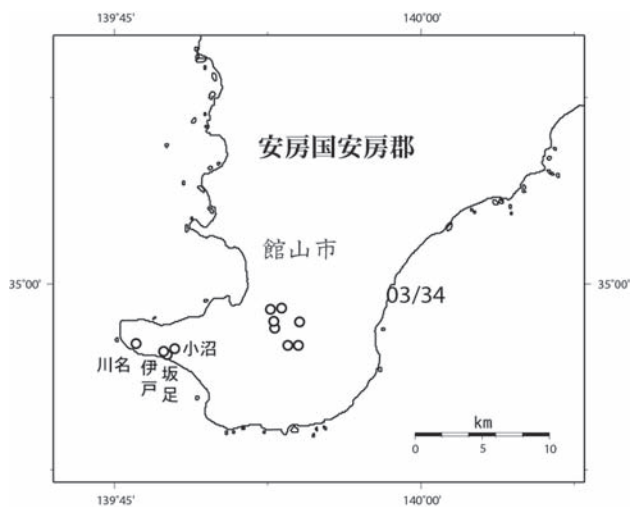


図3 元禄16年(1703)当時、旗本・本多氏が安房国安房郡で所領としていた11個の村の位置



図4 明治38年(1905)の川名、伊戸、足坂、小沼の5万分の1地図

この11個の村のうち海に面しているのは川名、伊戸、坂足、小沼の4個の村だけである。だから上の文書に記された流失家屋109軒というのは、この4個の村で生じたのだ。「千葉県の地名」によると、江戸期のこの4ヶ村の家数は、川名54軒、伊戸95軒、坂足14軒、小沼31軒であって、合計194軒である。このうち109軒が流失したというのであるから、この4ヶ村では、全家屋のうちの56.1%の家が流失したことになる。

そこで次に明治38年(1905)発行の5万分の1地形図で、この4ヶ村の集落の家屋配置を調べてみた(図4)。この4つの集落の様子は明治38年も江戸時代も大差ないと推定される。この4つの集落の56.1%の家屋が流されるには、どの等高線まで浸水



図5 現代の地図で見る川名、伊戸、坂足、小沼の4ヶ村

しなければならぬのであろうか？ そこで5m間隔の等高線の入った現代の2万5千分の一地形図で検証してみた(図5)。

標高10mの等高線まで浸水したとしたら？ 全然足りない。川名の半分ほどの家屋はかかるが、伊戸、坂足、小沼の集落には全く届かない。これでは、全戸数54軒の川名の半分しか流失しない。この場合、流失家屋はせいぜい30軒である。上の文書に記された流家109軒にはかけ離れすぎている。では、標高20mの線までの家屋が流失したとしたら？ ふたたび図5の20mの等高線に注目してみよう。この場合、川名の90%、伊戸の70%、坂足の10%の家が流失することになる。各村の総戸数の数字を使って電卓を叩いてみる、すなわち $54 \times 0.9 + 95 \times 0.7 + 14 \times 0.1 = 116.5$ となる。上の古文書の「流家109軒」の記載にきわめて近い数字である。しかしより細かく言えば、116.5軒は109軒より7%多い。このことは、流失家屋の範囲は20mの等高線より「ちょっと低い位置」であるべきである。いっぽう、浸水範囲にかかった家が全部流失するわけではない。浸水限界近くで、敷地上1mしか浸水しなかった家は、「床上浸水」にとどまって流失はしないであろう(たとえば、越村ら、2009)。このことを考慮すると、津波による海水到達点は標高20mより「ちょっと高い位置」にまで達したはずである。この両方の効果を考慮すれば、元禄地震の津波は、館山市の川名・伊戸の集落で浸水高は約20mであったと結論される。

上の文書の2行目「潰家380軒」は、おそらく地震の揺れによる倒壊家屋であって、それは主として内陸部の7ヶ村で生じたものであろう。多くの地震被災事例を調べてみると、地震による死者数はおおむね「倒壊家屋20軒で一人の死者」というのが大雑把な数字である。たとえば、元禄地震の小田原藩駿河国領の潰家836軒に対して圧死者数は36人で、つまり潰家23軒に一人の割で死者が出た。潰家1軒あたり0.043人の死者である。1995年兵庫県南部地震の際の神戸市の死者数は潰家1軒あたり0.068人である。大正関東震災(1923)の神奈川県平野部の死者もおよそそうになっている(都司, 2013)。そこで、潰家1軒あたり死者は0.05人生ずるものと仮定してみる。すなわち、「倒壊家屋20軒で一人の死者」である。すると「潰家380軒」ではおよそ19人が死んだ(圧死した)ことになる。ところで安房郡本多領11ヶ村全体で49人死んだというのであるから、津波による死者は、 $49 - 19 = 30$ 、となっておよそ30人と推定される。津波の流家は109軒であったから、この4ヶ村では、流家1軒あたり0.27人の死者があったことになる。

以上のような手順を経て「楽只堂年録」の記載から、津波被災地点を現代地図上での特定し、さらにそこでの流失家屋数、津波による溺死者数、流失家屋1軒当たりの溺死者数、津波浸水高までを知ることが出来る。同じ手順を房総半島の他の場所にも応用すれば、房総半島の海岸線上の溺死者数知ることが出来る(図6)。

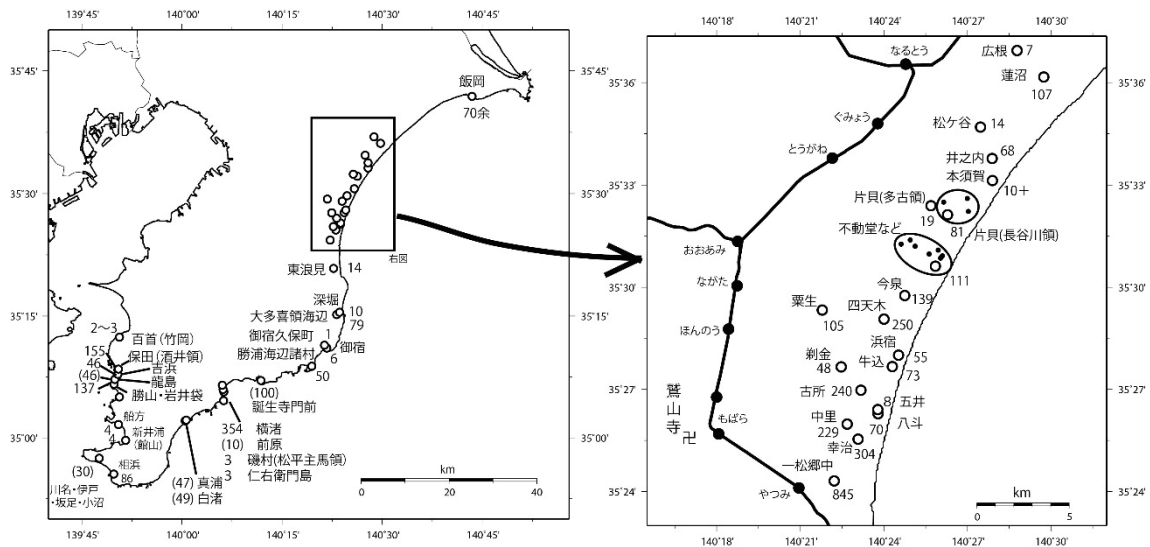


図6 元禄地震(1703)の津波による房総半島の集落別溺死者数 右図は九十九里海岸の拡大図 数字は溺死者数で、カッコの無い数字は古文書に溺死者数が明記された場所、()付きの数字は、本文のような手順で間接的に推定した溺死者数 右図でいくつかの黒小円を楕円で囲んだのは、その範囲の複数の小集落の合算死者数が記録されていることを示す。

4 元禄地震(1703)の流家1軒当たり死者数分布図は語る

さて、集落毎の元禄地震津波による溺死者数が判明し、その集落での家屋流失数が判明している場所であれば、割り算によって集落毎の流家1軒当たりの溺死者数は容易に得ることが出来る。その結果を図7に示す。九十九里海岸では流家1当たりの死者数が1人以上のところが大分部で、南部には3人を越えた場所も現れている。房総半島の西側でも館山以北の4集落で、約0.5人から2.3人という大きな数字となっている。房総半島の先端部の相浜や白渚(しらすか)でもそれぞれ0.98人、4.5人という大きな数字が現れている。常識的に1軒当たりの家族数を平均5人とすると、白渚の4.5人という数字は、流家では一家全滅の例を多数生じたことを意味する。さて、鴨川市から東浪見(一宮町)までの数字を見てみよう。磯村(現鴨川市)で0.02人、勝浦市で0.13人と0.06人、御宿で0.06人と、東浪見で0.16人と非常に小さな数字であることに気づくであろう。図7には小黑丸で、26年前の延宝地震(1677)の津波で大きな被害を生じた場所を示しておいた。両者の分布はピッタリ一致している。どうやら、延宝地震の津波の被害にあった集落では流家1軒あたりの死者数が非常に小さくなっていることが何となく

な数字が現れている。常識的に1軒当たりの家族数を平均5人とすると、白渚の4.5人という数字は、流家では一家全滅の例を多数生じたことを意味する。さて、鴨川市から東浪見(一宮町)までの数字を見てみよう。磯村(現鴨川市)で0.02人、勝浦市で0.13人と0.06人、御宿で0.06人と、東浪見で0.16人と非常に小さな数字であることに気づくであろう。図7には小黑丸で、26年前の延宝地震(1677)の津波で大きな被害を生じた場所を示しておいた。両者の分布はピッタリ一致している。どうやら、延宝地震の津波の被害にあった集落では流家1軒あたりの死者数が非常に小さくなっていることが何となく

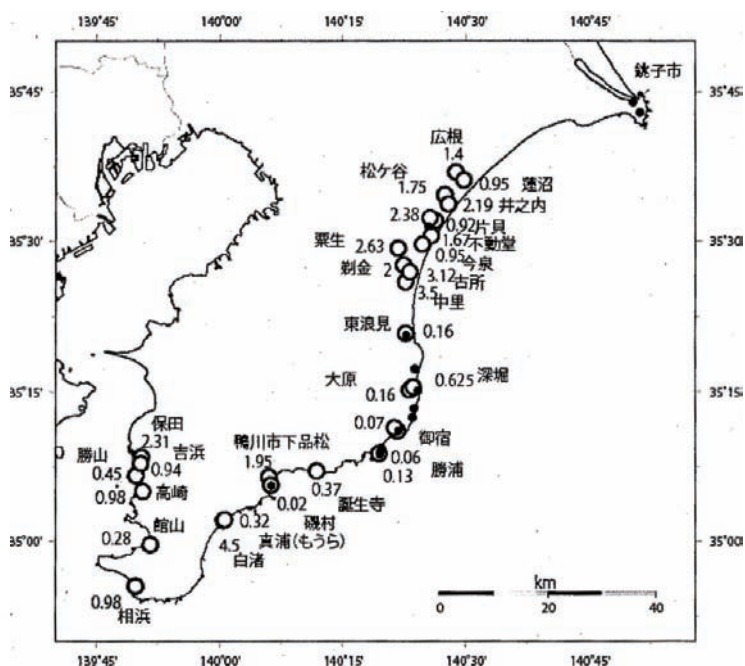


図7 元禄地震(1703)による流失家屋1軒あたり溺死者数
小さな黒点は延宝房総沖地震(1677)による被害のあった場所

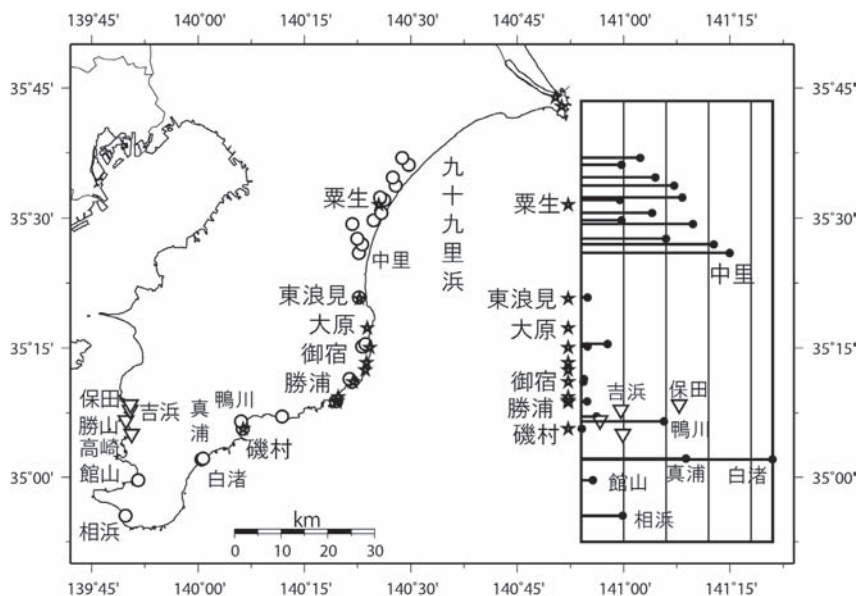


図8 元禄地震(1703)の津波による流失家屋1軒あたり溺死者数(右棒グラフ、及び▽印)。
▽印は房総半島西岸側の点。★(星)印はその26年前の延宝房総沖地震(1677)の津波で被害を生じた地点

わかるだろうか？この点をもっとハッキリわかるように、元禄地震津波による流家1軒当たりの溺死者数を棒グラフの形で示したのが図8である。

房総半島西海岸の4点は、棒グラフとはせず▽のプロットとした。そうして、星印で延宝地震（1677）の津波の大被害のあった場所を示しておいた。延宝地震津波の被害を経験した集落で、流家1軒当たりの死者が有意に少ないことは一見して明らかであろう。明らかに房総半島で26年前の延宝房総沖地震の津波の被災を経験した集落の人々は、元禄地震の津波のさいには、その経験から教訓を得て、地震を感じた直後にいち早く高所に避難したのである。

5 まとめ

元禄地震（1703）の津波による流家1軒当たりの溺死者数の分布は、26年前の延宝房総沖地震（1677）の津波の被災を直接経験した人々の住んでいた集落では、積極的に高所避難が行われたと考えられる。これらの集落では、家は流されたが人はほとんど死ななかつたという、津波の緊急避難の実践の効果が発揮されたのである。図8に見られるようにその効果は劇的であった。われわれはこの先人の賢明さに敬意を表すべきである。

ところが、その教訓の効果は、すぐ隣接する集落には現れていない。例えば延宝地震の津波で被災した磯村では元禄地震津波ではほとんど死者を出さなかつたのに対して、それに隣接する白渚、鴨川（本村）などでは流家1軒あたり2人～4.5人もの溺死者を出してしまった。当然白渚、鴨川本村などの人も延宝地震津波による被災について耳で聞き、また眼にする機会が有つたはずである。しかし、延宝地震津波の直接被害は受けなかつた隣接した場所の人々は、この事例を自らの教訓とすることはなかつた。われわれは、江戸時代に隣村の被災を教訓と出来なかつた人々を「愚か」とすることは出来るであろうか？2011年東日本震災による三陸地方、福島県海岸の悲惨な津波被害をテレビや出版物を通じて相当見聞きしながら、津波防災の取り組みに疎（うと）い市町村が多々ある。そればかりではない。津波警報が出ていながら、実際に避難行動を起こす人は僅か数パーセントであつたという例も耳にする。われわれは決して、26年前の被災地の隣村で元禄津波に重大な被災をした人々を笑うことは出来ないのである。

〈参考文献〉

- 羽鳥徳太郎, 1975, 房総半島における津波の波源—延宝（1677）・元禄（1703）・1953年房総沖津波の規模と波源域の推定—, 地震研究所彙報, 50, 83-91
- 平凡社, 1996, 「日本歴史地名体系12 千葉県の地名」, pp1345
- 越村俊一, 行谷祐一, 柳沢英明, 2009, 津波被害関数の構築, 土木学会論文集, B,65, 229-234
- 武者金吉, 1941, 「増訂大日本地震史料 第1巻」, 文部省震災予防評議会, pp943
- 都司嘉宣, 今井健太郎, 馬淵幸雄, 大家隆行, 岡田清宏, 岩淵洋子, 今村文彦, 2012-a, 宮城県及び福島県の沿岸での延宝5年（1677）房総及び慶長十六年（1611）三陸地震津波の痕跡調査, 津波工学研究報告, 29, 189-207
- 都司嘉宣, 矢沼 隆, 平畑武則, 今村文彦, 2012-b, 千葉県房総半島における延宝房総沖地震津波（1677）の痕跡調査, 津波工学研究報告, 29, 209-223
- 都司嘉宣, 2013, 家屋倒壊, および死者分布からみた大正関東震災（1923）の特徴, 深田地質研究所年報, 14, 139-145
- 東京大学地震研究所, 1982, 「新収 日本地震史料 第2巻別巻」, pp290



津波防災の現状と取り組み

たかやま ともつか*
高山 知司

Key Word

津波防災, 東日本大震災, 防潮堤, 防波堤, 津波越流, 粘り強さ

1 はじめに

2011年3月11日14:46にM=9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震によって発生した津波は青森県から千葉県までの東日本太平洋沿岸に5~15mの高さで来襲し20,000人弱の死者・行方不明者を出した。しかしながら、このような規模の地震や津波がわが国近海で発生するとはそれまで誰も予想していなかったため、何も対応してこなかった。

この東日本大震災は災害の状況から判断すると、地震動災害というより津波災害であったといえる。今までは地震動によって岸壁や護岸が大きな被災を受けることはあったが、防波堤のような港湾の第一線構造物が津波で壊されることはほとんどなかった。第一線防波堤が津波による被災を受けなかった理由としては、第一線防波堤は外洋からの暴浪に耐えられるように設計されており、これを超えるような大きな津波が発生してこなかったからである。しかし今回は、巨大な津波によって多くの第一線防波堤が破壊された。更には、津波防御施設として湾口部に建設してきた津波防波堤まで被災した。

東日本大震災における大きな特徴は、東北沿岸沖に設置されていたGPS波浪計や海底水圧計、海底設置式波浪計などの観測計器によって津波の波形が観測されたことである。これらの観測波形を用いて逆解析を行い、津波波源域における初期海面の変動を推定し、この初期海面変動から推算した津波波形はよく観測値と一致していた¹⁾。

このように津波波源域が精度よく推定できるようになったこともあって、津波災害や構造物被災のメカニズムが明らかにされてきている。このような調査・研究の成果も参照しながら、津波防災に関して

過去にどのように取り組んできたか、そして、東日本大震災を契機にして取り組みがどのように変化したのか、更には、この災害を通して新たに導入された津波防災の概念について述べる。最後に、現在行われている新たな取り組みとその課題について述べる。

2 過去の津波防災対策

明治以降今日までの150年近くの間には日本近海で起きた近地津波による災害は15回発生しており、10年に1回の割合である。遠地津波による被害を加えると、7年に1回となる。

このように発生頻度の高い津波災害に対して構造物による防災対策が立てられるようになったのは、1854年の安政南海地震津波によって大きな被害を受けた和歌山県広村における堤防建設が最初である。それまでの防災対策としては、津波の怖さを知らしめるために津波の到達位置を示す記念碑の建立がほとんどであった。広村に建設された長さ600mの堤防は、1946年の昭和南海地震津波では効果を発揮し、広村を災害から護った。

岩手県田老町は、1896年の明治三陸大津波で当時の田老村の全345戸が一軒残らず流され、人口2,248人中の83%が死亡している。また、1933年の昭和三陸津波では559戸中500戸が流出し、人口2,773人のうち911人が死亡した。全村移転は敷地確保が難しく、周囲に適当な高台もないために、防潮堤の建設が中心の計画となった。1934年から建設が開始され、日中戦争の拡大で中断されたが、戦後開始され、1958年に一期工事が終了した。その後も増築が行われ、1966年に総延長2,433m、海面高さ10mのX字形の防潮堤が完成した(図-1)。

* (一財) 沿岸技術研究センター

1960年のチリ地震津波では津波は防潮堤まで到達しなかったが、防潮堤によって田老町の被害は軽微であったことが報道され、防潮堤への関心が高まり、多くの防潮堤が建設されるようになってきた。



図-1 田老町に建設された防潮堤

1960年のチリ地震津波では大船渡市が大きな被害を被った。津波の変動周期は10分から1時間であるため、開口部を狭くして、背後水域を広くとると、津波を大きく低減させることができる。そのために、狭い開口部の防波堤を湾口部に建設して津波を防ぐことが、沿岸部に長い防潮堤を築くより経済的になる。また、この防波堤によって背後の港湾の静穏度も確保できることもあって、チリ津波を対象にして、大船渡湾の水深38mの湾口部に開口部202mの防波堤が計画され、1967年に完成した。1968年の十勝沖津波では湾内の津波低減に効果があったことが証明された²⁾。

チリ地震津波以降、津波防災対策として既往の津波を対象にして、防潮堤と湾口防波堤の建設が推し進められた。湾口防波堤としては、過去に大きな災害を蒙った釜石湾や須崎湾、久慈湾などの湾で計画され、既に完成したものもある。図-2は、30年間かけて2008年に完成した釜石湾口防波堤を示している。

北海道奥尻島青苗地区では1983年の日本海中部地震では4mの津波が来襲して被害が生じたので、天端高さ4mの防潮堤を建造していたが、1993年の北海道南西沖地震では10mの津波が来襲し、防潮堤を破壊して大きな災害を起こした。このように既往の地震津波を対象にして設計していても、それを超える津波が来襲する可能性があることが実証されたが、設計津波を再検討する動きにはならなかった。

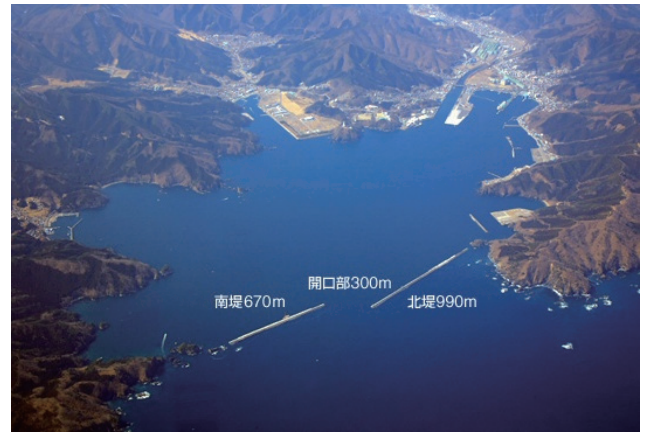


図-2 釜石湾の湾口防波堤

3 東日本大震災における海岸・港湾施設の被災メカニズム

2011年3月11日にM=9.0の地震が起こり、巨大な津波を発生させた。この地震と津波によって東北地方と関東地方の太平洋沿岸は多大な被害を受け、東日本大震災と命名された。10mを超えるような津波が沿岸部を襲い、過去に発生した津波に比べても格段に大きかった。このような津波は1,000年に1度の規模と言われた。この津波によって、田老町の防潮堤や大船渡の湾口防波堤など多くの津波対策構造物が壊滅的な被災を受けた。図-3と4は田老町の防潮堤と釜石湾口防波堤の被災状況を示す。



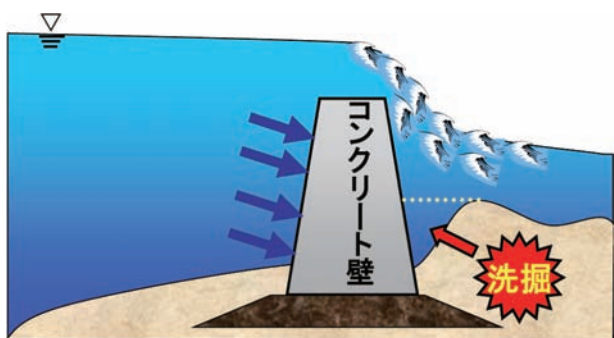
図-3 田老町の防潮堤の被災状況



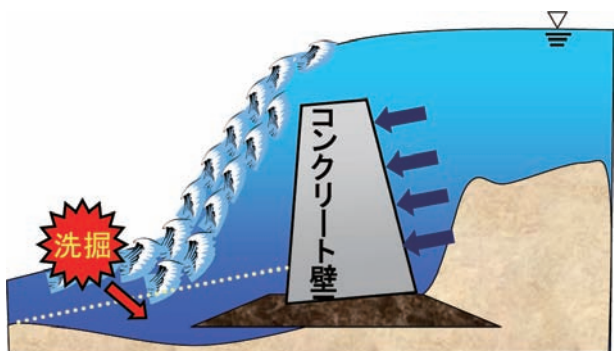
図-4 釜石湾口防波堤の被災状況

従来の設計では、耐津波施設で津波は完全に防護できると想定していたために、津波の越流については何も検討してきていなかった。東日本大震災における津波はその規模が非常に大きかったこともあって、耐津波構造物であってもその天端を容易に乗り越えた。

防潮堤の場合、東日本大震災の津波のように大きく越流すると、背後の地盤が洗掘され、支持力が低下して、陸側に転倒することが起こった(図-5)。また、遡上した津波が引き波時に戻り流れになって、防潮堤を越えると、前面水深は引き波で浅くなっているところに津波が落下してくるので、前面地盤が大きく洗掘され、支持力低下で海側に転倒することも起きた(図-5)。さらに、三面張防潮堤では越流した津波が背後の斜面を流れ落ちることによって、天端背面では流体の遠心力で張ブロックが剥がれやすくなるとともに、裏法尻部分が大きく洗掘されて、中詰土が吸出され、防潮堤の崩壊が起きた(図-6)。



(a) 押し波時の陸側への転倒



(b) 引き波時の海側への転倒

図-5 越流津波による防潮壁の転倒



図-6 三面張防潮堤の被災形態

津波防波堤の場合、破壊の原因としては、津波の規模が大きかったために、津波の波力で多くが滑动させられたと判定された。しかしながら、波力に対しては耐えることができると判定されたにも拘わらず、破壊されているものがあつた。この原因として、設計では考慮していない越流津波に伴う現象や防波堤の前後の大きな水位差による捨て石マウンド内の浸透流の影響が考えられた。前者については、水理模型実験が行われ、防波堤の背面の水圧が津波の越流によって静水圧より小さくなることがわかつた³⁾。この水圧低下は津波越流によって生じる渦による加速度で引き起こされることが数値シミュレーションからも明らかになってきている⁴⁾。越流津波による洗掘に関しても実験が遠心载荷装置を用いて行われた⁵⁾。それによると、防波堤前後の水位差に伴う浸透流がないと、越流津波による洗掘は条件に対応した洗掘形状で安定するが、浸透流があると浸透圧で捨て石が動きやすくなり、洗掘は次第に防波堤に向かって広がり、防波堤の端部にまで到達することが判明した。図-7 (a) と (b) は浸透流の有無による洗掘形状の違いを示している。地盤支持力に対する浸透流の影響についても遠心载荷装置で実験が行われている⁶⁾。図-8はこの実験結果を示している。これによると、水位差が10mもあると、浸透流が生じることによって、地盤支持力が17%低下することがわかる。



(a) 浸透流あり (b) 浸透流なし

図-7 越流津波による洗掘形状の相違

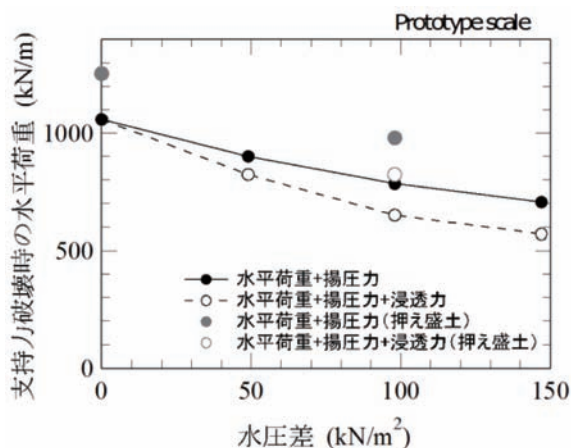


図-8 浸透流による地盤支持力の低下

このように津波波力からだけの算定では被災しないと思われた防波堤も越流津波による渦や洗掘、浸透流の影響を考慮すると被災することが判明した。しかしながら、越流条件が変わったときに防波堤の安定性に対する定量的な影響についてはまだ不明な部分が多く、今後の調査や研究に期待するものである。

4 津波防災における新たな概念

東日本大震災時のような大規模の津波を対象にして、施設で防御しようとする膨大な費用が発生し、現実的には不可能に近い。そこで、津波を発生頻度の高い津波（L1津波）と再現期間が1000年に達するような最大クラスの津波（L2津波）に分けて対応することになった。L1津波に対しては防御対象の津波として、構造物によって完全に遮蔽することを考える。そのため、構造物は津波の越流や津波による変形を許容しない構造として人命と財産を護るように設計することが求められた。また、L2の津波については避難によって人命を護ることを考え、減災を対象とするが、構造物が崩壊すると被害が急激に増大するため、粘り強さを付与して、できるだけ崩壊しないようにすることが求められた。このことは、津波の越流や津波による変形は許容するが、粘り強さによって崩壊しないように設計することである。

上述のように、今後の耐津波施設には粘り強さが要求性能として求められており、L2津波では変形が許容されている。そのために、L2津波に対する変形の程度を照査しなければならない。現状では変形の照査方法がないために、許容安全率が1.0以上になるように設計されている。しかしながら、許容安全率1.0の設計法は必ずしも粘り強さを照査したことにはならず、初期強度を照査したに過ぎない。

粘り強さとは、設計条件以上の外力が作用したときに徐々に変形しながら外力に耐え、変形することによって外力が設計条件以上になっても、すぐに機能を失うことがないことである。

鋼材は通常弾性変形の状態において設計され、設計外力以上になると、塑性変形の状態になり、さらに外力が大きくなると破断して機能を失うことになる。破断するまでは粘り強さが発揮されることになる。このように考えると鋼材は粘り強い材料である。

また、施設の構造形式の工夫によって粘り強さを付加することも考えられている。このような構造形式として、図-9に示すように三面張防潮堤の背後を盛土して植樹し、植樹によって環境の改善と津波時には越流津波の勢いを低減させるとともに、防潮

堤の崩壊を遅らせるようにした緑の防潮堤が提案されている。また、図-10の防波堤のように背後の捨石マウンドを嵩上げして、設計条件以上の外力が作用すると、堤体が変形し始め、それに対応して嵩上げた捨石マウンドが受動土圧で抵抗し始める。堤体の変形が進むと堤体は変形しながら抵抗力を増大させる。このように堤体が変形することによって抵抗力が増大する構造形式も考えられている。

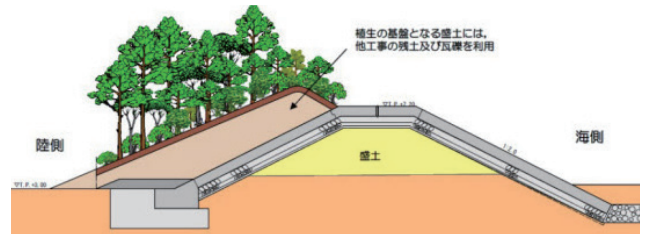


図-9 緑の防潮堤にイメージ

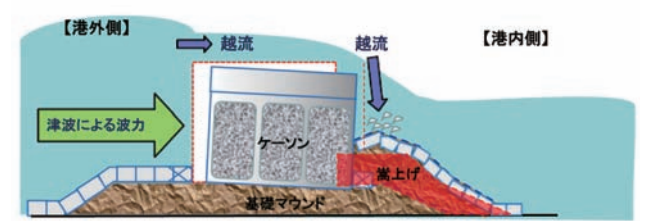


図-10 粘り強い防波堤の一モデル

5 津波対策における新たな取り組み

東日本大震災が起きてから4年になる。被災した多くの町では復興計画が策定され、防潮堤等の津波対策構造物の建設が行われている。これらの津波対策構造物には、粘り強さの付加といった新たな概念に基づいた対策が行われている。現実にはどのような構造物が建設されているか、2、3の例を示すとともに、このような構造物の今後の課題についてここで述べる。

既に述べたように、鋼材は粘り強い材料であるために、鋼管杭を用いたハイブリッド防潮堤が山田町や気仙沼市で建設されている。その防潮堤の概念図を図-11に示す。前後の鋼管の間にフーチングブロックを渡して一体化を図り、前面の鋼管の間にプレキャストコンクリート板を差し込んで、防潮壁としている。地盤は必要な場合には改良を行って、強度を上げている。図-12はハイブリッド防潮堤の建設中の写真である。

多くの海岸線で三面張防潮堤が建設されているが、三面張防潮堤の弱点である、越流津波による裏法尻部の洗掘を防護するために図-13に示すような矢板が打ち込まれているものやあるいは地盤改良に

よる対策が取られているものもあった。また、裏法面は図-14のようにコンクリートブロックによって敷き詰められているものや図-15のように裏法を盛土で覆い、植生を行う構造のものもあった。

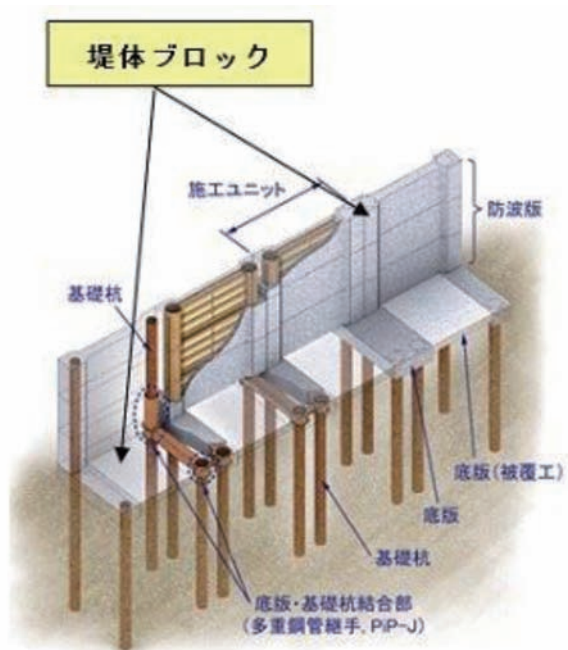


図-11 ハイブリッド防潮堤の概念図



図-14 防潮堤裏法面の張ブロック



図-15 裏法面張ブロック上の植生用盛土



図-12 ハイブリッド防潮堤の施工状況



図-13 防潮堤裏法尻の洗掘防止用矢板

防波堤に関しては粘り強さを付加してL2津波に対応させようとした施工事例はまだほとんどないが、唯一あったのは八戸港北防波堤のハネ部である。このハネ部の防波堤は消波工被覆堤として設計されていたために、暴風時の波浪に対しては消波工の作用で堤体本体に作用する波力は小さく見積もられていた。しかしながら、ソリトン分裂をしていない津波では消波工による波力低減はほとんど期待できないし、津波は広範囲に一様に作用するために防波堤の被災延長は非常に長くなる。そのこともあって、図-16に示すようにハネ部の防波堤は東日本大震災の大津波によって灯台のある先端部のケーソンを除いて全てが倒壊した。このことを考えると、ハネ部の防波堤を原型復旧してもレベル2津波が再度来襲すると再びほとんど全部倒壊することになる。そこで、ハネ部の防波堤については粘り強さを付加した構造に補強された。図-17に示すような中が空洞のカウンターウエイトブロック(サブプレオフレーム)20tを背後に設置し、堤体の滑動抵抗を増大させようとするものである。このままでは滑動抵抗はあまり大きくならないのでブロックの空洞部分に碎石を投入して、この碎石と捨石マウンドの石との噛み合わせによる高い摩擦力で大きな抵抗力を発揮させるものである。高い摩擦係数については実験によって確認されている。



図-16 八戸港北防波堤ハネ部の被災状況

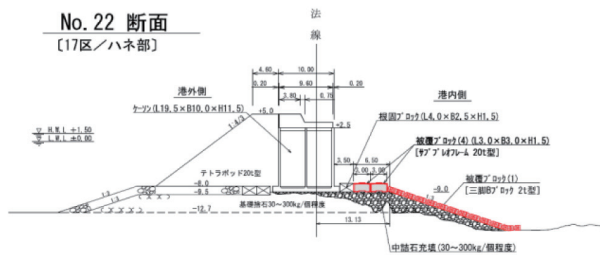


図-17 八戸港北防波堤ハネ部のカウンターウエイトブロックによる補強

以上示したのは、現在建設中の典型的な事例である。これらの事例はすべて粘り強さを付加して、L2津波への対応を考えたものである。しかしながら、これらの事例の中には粘り強さというより初期強度の補強を図っているものもある。カウンターウエイトブロックはL2津波の越流に伴う捨石マウンドの洗掘に対してその防御効果が模型実験で確認されている。このため、この工法は越流津波による洗掘に対して粘り強さがあるといえる。

以上のように、粘り強さが付加できると推測される工法が実施されているが、どの程度粘り強くなったか、その定量的な照査が行われている工法はほとんどない。現状では早急な復旧が急がれているために、定量的な評価がなされないままに適用されているのはある面では仕方がないかもわからない。今後、このような工法を現地に適用するに当たっては、定量的な評価ができるようにしておくことが非常に重要であり、これからの重要な課題である。

6 おわりに

これまでの耐津波施設については、津波の越流は許容しないという観点から設計してきたために、越流が起きることは想定しておらず、そのため、越流したときに何が起きるかは検討されていなかった。東日本大震災に遭遇して、耐津波施設の設計における弱点が露呈した。これを克服するために、津波を

2つのレベルに分け、防御する発生頻度の高い津波(L1津波)と避難といった減災で対応する最大クラスの津波(L2津波)に分けて検討することになった。これによってL2津波が来襲したときには津波の越流は許容するが倒壊しないように粘り強さを付加することになった。

越流津波によって起きる洗掘は捨石マウンド内に起きる浸透流と相互に関連し、堤体の安定性に影響を与えることがわかってきている。しかしながら、定量的な把握がまだ十分でなく今後の研究課題である。

堤体に粘り強さを付加する工夫がなされて、実際に施工が行われてきているが、粘り強さの照査が行えるような段階になっていない。早急な復旧が急務な現状では仕方がないが、将来の適用を考えると照査技術の確立が重要になる。

以上のように、耐津波施設の設計における粘り強さの照査技術がまだ十分でないため、設計に十分反映されていない。特に、粘り強さは堤体の変形を許容するために、照査技術の開発が難しい。今後の重要な開発課題である。

〈参考文献〉

- 1) 高川智博, 富田孝史:「時間発展を考慮した津波波源逆解析と観測点地盤変動量のリアルタイム推定」,「土木学会論文集B2(海岸工学)」, Vol.68, No.2, pp.1_311-1_315, 2012
- 2) 伊藤喜行, 谷本勝利, 木原 力:「長周期波に対する防波堤の効果(第4報) - 1968年十勝沖地震津波に対する大船渡防波堤の効果 -」,「港湾技術研究所報告」, Vol.7, No.4, pp.55-83, 1968
- 3) 有川太郎, 佐藤昌治, 下迫健一郎, 富田孝史, 辰巳大介, 廉慶善, 高橋研也:「釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討 - 水理特性を中心とした第一報 -」,「(独)港湾空港技術研究所資料」, No.1251, 52p., 2012
- 4) 中村友昭, 安藤康平, 山田裕貴, 水谷法美, 小竹康夫:「津波の越流に伴う混成堤ケーソンの挙動とその機構に関する数値解析」,「土木学会論文集B2(海岸工学)」, Vol.68, pp.1_831-1_835, 2012
- 5) 佐々真志, 高橋英紀, 森川嘉之, 高野大樹, 丸山憲治:「津波越流一浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘への適用」,「土木学会論文集B3(海洋開発)」, Vol.69, No.3, 2013
- 6) 高橋英紀, 佐々真志, 森川嘉之, 高野大樹, 丸山憲治:「津波による浸透作用下の防波堤基礎マウンドの支持力発現特性」,「土木学会論文集B3(海洋開発)」, Vol.69, No.3, 2013

防災文化を継承・ 発展させる教育

かとう ますみ*
河東 眞澄

K
ey Word

行動を通して語り継ぐこと

1. はじめに

「釜石には夢も希望もありません。私は釜石から出て行きます。」テレビの報道番組で答える女子中学生、ショックでした。子ども達が夢や希望を持てるような日常会話が家庭や地域、学校で不足しているのが要因ではないかと思いました。

釜石には不死鳥の如く困難を乗り越えてきた不撓不屈の逞しさがあるはずだ。津波、艦砲射撃、大火、鉄鋼関連の合理化等々、壊滅的状况の中から、その都度蘇ってきた歴史がある。また、近代産業発祥の地でもあり、物づくりの文化もある。故郷の歴史を子ども達に学ばせ、誇りと自信を身につけさせる必要があると強く感じました。

しかし、釜石は地元出身の先生が3割弱、管理職は3年、先生方は5年で出身地の内陸等へ転勤して行く。先生方に釜石を学んでもらい、教えてもらうしか無いと考えました。地元学を提唱し、出前授業や巡検等の講師派遣は勿論の事、中学生対象の副読本を大改訂して小中の全教職員にも配布し、学習の上、あらゆる場での活用をお願いしました。また、先生方と子どもたちが一緒に学区内を探索するよう推奨しました。活動の中で「津波てんでんこ」とか石碑、地名等々から、安全安心の教育、特にも99%の確率と言われた宮城県沖地震そして三陸北部沖地震の問題が浮上してきました。

釜石市では津波防災を群馬大学大学院教授・工学博士の片田敏孝氏に依頼して取り組んで来ましたが、市民への浸透に課題が残されておりました。そこで、平成18年からそれぞれで取り組んで来た防災教育を教育委員会と防災課が協力し、群馬大学の片田教授にご支援・ご協力をお願いしながら、

警察署、消防署、気象台等も巻き込み文部科学省の事業（防災教育支援事業）に組み込んでもらい、子どもの安全をキーワードに学校から保護者、そして地域へと発展する地域防災体制づくりを始めるとし、平成20年度から本格的に取り組みを開始しました。

2. 基本的な取り組み事項

子ども達の安全を守るために、学校は、保護者は、地域は、それぞれ何をしなければならないのか、何が協力して出来るのかを考え、実践することで、地域の防災体制を構築していく。

- 自分の命は自分で守る力を子ども達に育てる
「津波てんでんこ」の理解と実践力をつける
キーワードは「信頼しあう事」
- 教職員の意識改革と共通理解
- 片田教授との連携
「津波に備える事が当たり前という文化の形成」
- 拠点校とリーダーの養成
- 文部科学省の事業へ立候補する
警察署、消防署、海上保安部、気象台等も巻き込む
- 釜石市防災教育支援推進委員会を設立する
群馬大教授、学校長、自主防災組織、
社会福祉協議会、警察署、海上保安部、
気象台、消防署、副市長、防災課長、
教育長等 20名

3. 防災教育支援事業への取り組み

防災教育支援事業とは、文部科学省が防災研究を担う大学等の研究機関を中心として、地方公共

*釜石市教育委員会 元教育長

団体、学校、社会教育施設、その他関係機関等が連携・協力して、優れた防災教育の取り組みを行う地域（5地域）をモデル地域として選定し、必要な支援を行う事業。

全国から28機関が応募し、自治体では釜石市のみ採択され、他は大学や研究機関だけでした。平成20年度、21年度の2か年にわたる事業。

釜石市では、喫緊の課題として津波防災を取り上げ、群馬大学の片田教授の全面的なご支援ご協力を戴きながら本事業を推進しました。

テーマ1

群馬大学片田敏孝教授に依頼し、疑似避難を体験できるより効果的なツールの開発。動くハザードマップ等の改良。

テーマ2

教員、保護者、地域リーダー等を対象とした具体的な行動を伴った研修プログラムの開発・実践。

・・・釜石市消防防災課担当

テーマ3

小中学校に開発・実践のための協力校を依頼し、実践的な防災教育プログラム等の開発・実践。

・・・釜石市教育委員会担当

テーマ4

地域の子どもの命を守るため、実情に応じた先進的な取り組みの実施。家庭の中で保護者等の防災意識を高める。（津波避難の仕組みづくり、「子ども津波避難の家」等）

・・・釜石市津波防災課担当

教育委員会が窓口となり、テーマごとに担当部課を決め、相互に連携協力しながら取り組みました。



4. 実践的な防災教育プログラム等の開発・実践

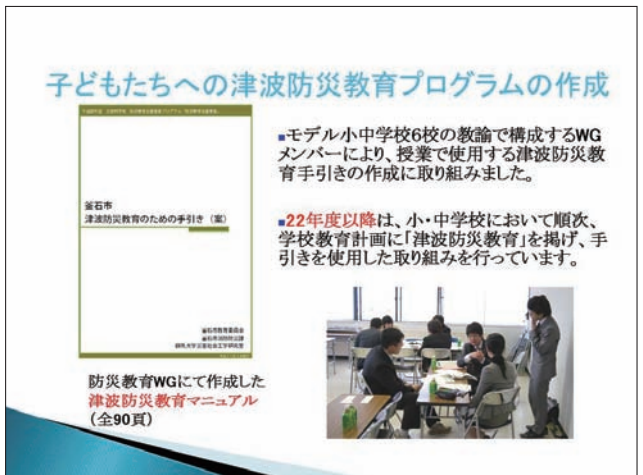
防災教育支援事業は4テーマから成り立ちますが、今回は教育委員会が直接担当した、テーマ3について記述したいと思います。

1 ねらい

児童生徒が、自らの命を守るため、また、津波への備えを地域文化として継承し、将来にわたって地域の防災の担い手になるよう、学校教育における防災教育推進のための教育プログラムを開発・実践をする。

2 育てたい力・能力

- ①地震や津波についての理解を図り、その恐ろしさや危険を認識することで、防災に対する意識を高める。
- ②緊急地震速報、津波警報、津波注意報等の発令に際し、危険を認識し、的確に判断し、自らの安全を守るための適切な行動がとれる能力を育てる。
- ③災害時に自らが出来る事に率先して取り組み、他と協力して助け合いながら困難な状況に立ち向かう態度を養う。



3 防災教育プログラムとして開発・実践するもの

①開発・実践の基本方針

- 特別活動や総合的な学習の時間以外に、各教科の中にどんな要素があり、どんな学習場面で実施出来るかを防災教育プログラム（低・中・高学年、中学校用）としてまとめる。
- 訓練なしに避難行動はとりにくい。毎日の授業の中で、少しでも津波や津波防災に関する事を意識させれば、迅速な避難行動に繋がる。

- ②防災教育プログラムに盛り込む主な内容
 - 動く津波防災ハザードマップの活用
 - 各教科における防災教育
 - 防災マップの作成等保護者を巻き込んだ活動
- ③開発するもの
 - 防災教育年間計画
 - 小学校 低学年 中学年 高学年
 - 中学校
 - 防災教育指導資料（授業で活用するための資料と手引き書）

- 全教職員を対象とした研修会の実施
- 協力校による取り組み、ワーキンググループによる作業
- ②2年次（21年度）
 - ワーキンググループによる資料作成作業
 - 協力校による資料を活用した授業実践
 - 防災教育プログラムの完成と普及

5. 子ども達の意識の変容

- 自分の命は自分で守るという自覚や想定外の出来事への反応が素早くなった。
- 避難訓練等でも、本気で取り組むことで、新たな発見に気づき、改善への行動が見られた。
- 学年に応じて、災害時の行動を主体的に考える子ども達が増えた。
自分に何が出来るか考える子ども達。助けられる人から 助ける人へとの変化。



4 防災教育プログラム開発・実践の推進

- ①開発・実践協力校
 - 小学校 4校 中学校 2校
- ②推進方法
 - 研究協力校の先生を中心にワーキンググループを組織し、開発・実践を推進する。



5 防災教育プログラム開発・実践の推進計画

- ①1年次（20年度）
 - アンケートの実施

- 弱者や地域へ視点が向くようになり、防災ボランティア等への関心が高まった。
- 地域等に評価されることにより生活面での向上が見られるようになった。
- 防災甲子園で連続最優秀校の中学校、小学校も優秀賞を受賞。
- 土砂災害への独自の取り組みをする中学校。
- 各学校で地域と連携した独自の取り組みが見られる。
安否札の配布 高齢者や独居者等の確認
先人の知恵を学ぶ 津波110番の家を設置
寸劇で地域へのアピール
- 祖父母や弟妹を説得して避難させた多くの小学生の活躍。
- 小学生や保育園児を援助、弱者を支援、大声での呼びかけをしながら避難した中学生の活躍。

- 自分に出来る事を探して、行動する子ども達が増えた。
- 避難所等での感謝の気持ちを込めた活動。全国表彰の中学校もある。
- 復興支援に駆けつけてくれた、各機関、団体、ボランティア等々、及び支援物資を送ってくれる世界中の人達への感謝の気持ち。持続させたい。

釜石の奇跡は奇跡ではない



6. 実践結果と今後の課題

- ワーキングメンバーに各校から推薦された中堅教諭の意欲的な取り組みで、各学校への浸透にスピード感があった。
- 大震災1年前の平成22年4月から、全校でテキストや資料を活用して具体的に実践出来た。
- 避難訓練もいろんな想定で実施工夫され、震災時に活かされた。
細い坂道での避難順序（高学年から低学年へ）
児童生徒の点呼の場所や指示の出し方等々。
- 避難場所での中学生の積極的な活動が見られた。
清掃や高齢者への声がけ
簡易トイレの清掃
- 子どもと保護者が一緒に防災マップづくりや通学路を探索したことにより、安全安心の意識の高揚と地域理解に結びついた。
- 地域や関係者を巻き込んだ防災訓練が実施出来るようになった。
- 「津波てんでんこ」の背景に、家族の信頼関係が重要との認識が生まれた。
- 避難場所の確認や避難の仕方、日常の心得、持ち物等家族の日常的会話が増えた。
- 今回の大震災では、中学生等の活動に評価すべき点が多々あった。高齢化が進む中で防災組織の中に中学生等の役割を考えておく必要がある。
- 子ども、学校、保護者、地域がより密接な連携

を図り、あらゆる災害から生命を守る体制を日常的に構築していくことが大切。

- 地域を守る消防団の活動を、学校では教えてきたが、より具体的に、消防団員の子ども等が誇りを持てるように指導すべきだ。
- 復興が遅れる中で、子ども達の心の問題や運動不足が指摘されている。釜石市では、平地が少ないのに子ども達のために、校庭へ仮設住宅は一戸も建てなかった。素晴らしい事だと思う。
- 復旧・復興の工事の中で、悪臭やほこり等から、子ども達の健康を守る取り組みがなされた。諸経費はかかるが必要な事だと思う。
冷暖房や空気清浄機等
- 何時、どこで、どんな災害に遭遇するかわかりません。親は子どもへ、常に災害時の心得を語る事が肝要。
- 学校では、校長先生等が移動しても、地域の防災文化を継続指導することが肝要。

子ども津波避難の家設置

- 地域の協力を得て設置に向けての懇談会を実施
- 避難の家協力者募集(モデル地区:約100件)
- ステッカー作成(冬休みの課題として東中学校生徒にステッカー作成を依頼)
- 協力者 津波避難勉強会



7. 結びに

今回の震災で、学区が被災地となった学校（小学校5校、中学校4校）の約1900名。学校にいた子ども達は、素早く行動して難を逃れた。

すでに下校していた学校は小学校2校、中学校1校。児童生徒の安否確認に先生方を始め関係者が数日を費やしてできる限りの努力をしました。しかし、残念ながら家族と行動中だった小学生3名、中学生2名の尊い命を失い、課題も残した。

防災教育に取り組んで6年目、最初に取り組んだ生徒は20歳。継続は力なり、釜石の先生方は今後も転勤は続くだろうが、命を大切にする学校・地域の防災文化を継承発展させる原動力に成って欲しいと願っております。

東日本大震災により被災した 仙台市の盛土造成宅地の復旧について

みしま しょうじ
三嶋 昭二*Key
eey Word造成宅地滑動崩落緊急対策事業，滑動崩落，宅地復旧，耐震対策工
表面波探査，平成 23（2011）年東北地方太平洋沖地震

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生したマグニチュード 9.0 の平成 23（2011）年東北地方太平洋沖地震は、東北から関東にかけての東日本一帯に甚大な被害をもたらした。この地震により、仙台市においては広範囲にわたる造成盛土宅地で宅地変状に伴う被害が多数発生した。仙台市では、市民から被災の情報提供等があった宅地について、被災直後から被災宅地の危険度判定が行われた。その結果、危険度「中」以上（赤・黄判定）とされた宅地は 2000 余り（平成 23 年 5 月時点）であった。しかし、被害実態の全貌は把握されておらず、7 月上旬から全貌を把握するための調査が開始された。これらの結果に基づき、11 月に新しく創設された「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」への申請、滑動崩落を確認するための調査、滑動崩落の耐震対策のための調査・設計（平成 24～25 年度）・施工（平成 24 年度～）が順次進められた。

私は、仙台市の宅地被害がクローズアップされた平成 23 年 4 月以降に、宅地被害の概況調査・詳細調査・設計等に携わった。また、調査・設計の実施会社・企業体の統括及び仙台市との協議主体となる事務局のメンバーの一人（全 3 名）として活動した。

本稿では、初動から施工に至るまでの流れや耐震対策状況等について述べる。

2. 初年度（平成 23 年度）の対応

被災直後、仙台市の宅地被害について私は把握していなかったが、3 月 29 日以降に新聞報道などで知ることになった。その二日後の 31 日に仙台市から「造成宅地で発生した‘地すべり’」に関して

の調査の問合せがあり、翌 4 月 1 日には、被害が著しい 4 地区（仙台市では全 17 地区）について詳細調査を進めることになった。しかし、仙台市では、どのような事業で進めるべきか模索中であるとともに、被害の全貌が把握できていない状況であった。このため、5 月 24 日仙台市職員・詳細調査実施会社を対象に阪神・淡路大震災での対応事例などについての講演会が開催された。また、翌 25 日には仙台市の職員を対象に、主に事業化についての勉強会が行われた。その後、7 月上旬に被災宅地の状況を把握するための概況調査が本格的に始まった。

この調査は盆前に現地踏査を終了する必要があったため、5 社が作業を進めた。当社では 7 月 11 日～8 月上旬にかけて社内から多くの技術者参加により対応した。この業務では、仙台市における事業検討に係る基礎資料等のとりまとめを行った。

仙台市は、これらの資料を基に、過去の震災時の対応状況を参考に、宅地復旧の事業化の検討を進めた。検討に際しては、「災害関連地域防災がけ崩れ対策事業（特例）」を基本にした事業化の検討に加え、自治体独自の助成制度の検討も行われた。その結果、新たに創設された復興交付金事業の「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」及び既存の事業でもある「災害関連地域防災がけ崩れ対策事業（特例）」の公共事業により、被災宅地の約 4 割の被災宅地の復旧が可能となった。

このうち、造成宅地滑動崩落緊急事業について、その準備（勉強会（1 月下旬から 1 回/週，5 月から 1～2 回/月））をしつつ、4 月以降に具体的な調査計画の立案、調査を開始した。

また、宅地復旧に関する技術的な検討を行う必要があったため、仙台市宅地保全審議会や、特に

*応用地質株式会社東北支社 ジオテクニカルセンター 上級専門職

技術的に専門性の高い事項（変状メカニズムや対策方針等）については、その下部組織である技術専門委員会から、指導及び助言を頂きながら、宅地復旧事業を進めることとなった（特に17地区）。

2.1 仙台市における被害の状況（概況調査結果）

概況調査は危険度「中」以上の宅地及びその周辺宅地を対象にして現地踏査を7月11日からスタートさせた。現地踏査では変状状況を確認し、それらの結果は「被災宅地の調査・危険度判定マニュアル」¹⁾・「擁壁・のり面等被害状況調査・危険度判定票作成の手引き」¹⁾に準じて被災程度を最終的に評価した。その結果、仙台市の被災宅地数は4000宅地余りになることが判明した（その後平成24年5月31日時点では5080宅地に増加）。

これらの被災宅地については、造成宅地滑動崩落緊急対策事業、災害関連地域防災がけ崩れ対策事業（特例）、その他の公共事業の災害復旧事業についての事業化、自己復旧について検討するために、表1のように整理した。

表1 概況調査で整理した内容

区分	内容
被災状況	地盤のみ被災、擁壁のみの被災、地盤+擁壁の被災
擁壁の高さ	2m未満、2～3m、3～5m、5m以上
擁壁の位置	官民境界（官地と民地の境界部） 民民境界（民地と民地の境界部）
被害要因	谷埋め型盛土、腹付け型盛土、切盛り境界、擁壁の安定性不足、緩い締固め状態の盛土（沈下）、地盤の液状化（陥没・沈下・噴砂）、地すべり地形
事業分類	造成宅地滑動崩落緊急対策事業、災害関連地域防災がけ崩れ対策事業（特例）、その他公共事業の災害復旧事業、自己復旧

2.2 事業化の検討

当初、仙台市は、事業化の検討について、擁壁の被害が多かったこと、過去の震災時の事業を参考に災害関連地域防災がけ崩れ対策事業（特例）（以下「地がけ」と呼ぶ）を主体として事業化の検討を進めた。しかし、広範囲かつ大規模で地すべりの（滑動崩落）な被害を受けた地区もあったことから、それらの地区においては、「大規模盛土造成地滑動崩落防止事業」も視野に入れ検討が進めら

れた。

地がけ事業（特例措置）については、採択要件（がけ高3m以上、保全人家が2戸以上、ライフラインの有無（市道・避難路・迂回路のない道路・下水など）を満たす箇所が少ない状況にあり、7月下旬に、43箇所（168宅地）の仮申請が行われたが、このうち事業採択を受けたのは、10箇所（約20宅地）となった。この事業については、既に平成26年4月に完了しているが、私は仮申請及び事業採択に係る基礎資料や、県との工法協議に係る調査及び実施設計などの業務に関わった。

また、広範囲かつ大規模な滑動崩落の被害を受けた地区などについては、新たに創設された「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」により、平成24年1月に事業申請し、現在仙台市内160地区で事業が進められている。

「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」においては、平成25年3月までに施工に着手しなければならないとの制約があり、実施設計等を行う上で、過去に例のない業務であったことや、加えて時間的な制約があるなか、成果を上げなければならなかった。

私は、そのうち、取りやめになった地区を含めて90地区に係る、測量・調査・対策工の比較検討・実施設計業務などを進めるとともに、事務局の一員として、この大きなプロジェクトを円滑に進めるために活動した。

表2 大規模盛土造成地滑動崩落防止事業と造成宅地滑動崩落緊急対策事業の比較

項目	大規模盛土造成地滑動崩落防止事業	造成宅地滑動崩落緊急対策事業
目的	災害予防措置として行う	災害予防だけではなく、宅地災害の早期復旧と再度災害防止
交付率	1/4	1/2（特別な場合は2/3）
事業の対象となる盛土造成地の要件	盛土面積が3000m ² 以上、かつ盛土上に存在する家屋が10戸以上	左記に加え、盛土をすめる前の地盤面が20°以上かつ盛土高さが5m以上であり、かつ家屋が5戸以上
崩落で被害のおそれのある公共施設等の対象	道路（高速道自動車道国道、一般国道、都道府県道） 河川、鉄道、避難地又は避難路	左記に加え、一定の要件を満たす市町村道、下方斜面での家屋10戸以上
対策工着工期限	期限無し	2013.3.31

なお、滑動崩落事業に関する二つの事業の違いは、表2に示すように採択要件の緩和、交付率の引き上げ、着工期限の設定である。

2.3 緩み地盤を把握するための表面波探査

滑動崩落は崩壊と変形に分類され²⁾、仙台市で発生した多くの滑動崩落は、主に「すべりによる変形」に分類された。この地すべり的な変状を伴う滑動崩落を対象に対策工を検討するためには、変形領域（緩み地盤）を把握する必要がある。

深度方向におけるすべり領域の把握には、ボーリング調査やそれを利用した動態観測が一般的である。しかし、盛土の土質区分やN値からでは変形領域（すべり面）を特定できないと共に、動態観測では余震・豪雨を経験したにも関わらず変位が確認できなかった。このため深度方向での変形領域の特定には頭を悩まされた。

しかし、地すべり的な変状を伴う滑動崩落が発生した3地区で表面波探査を提案・実施し、各種検討を行ったところ、速度層と被災宅地の分布と非常に良い結果を得られた。せん断波速度（S波速度） $V_s = 160 \sim 200\text{m/s}$ の境界ラインで囲まれた低速度部の範囲は、主たる変状範囲（滑動崩落した範囲）及びその周辺に確認された被災宅地分布（盛土の緩み範囲）と概ね一致した。また、多くの地区の被災状況をみていると明瞭にすべりが発生しているのは少なく、「地すべり的な変形」など、すべり面が特定できない被害形態が主体であることなどから、表面波探査のS波速度分布、ボーリング調査に基づく地層区分や物性値、宅地の被災状況などから総合的に判断し、「設計上のすべり面」（せ

ん断される前の変形のためすべり面ではないが、設計上必要になることから名付けられた）を設定することになった³⁾。このため、造成宅地滑動崩落緊急対策事業の調査において、表面波探査はボーリング調査と同様な標準的調査手法となった。

調査結果例（A地区）を図1³⁾および図2³⁾に示す。

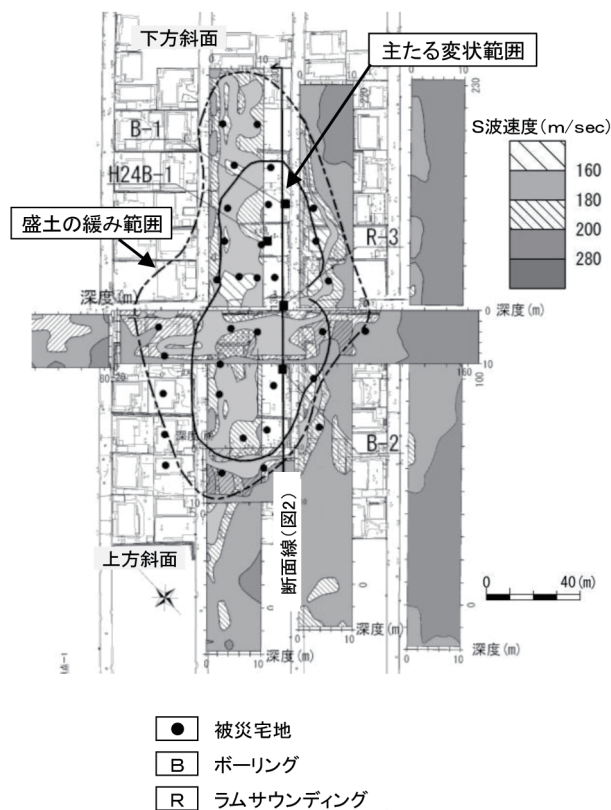


図1 表面波探査結果³⁾
S波速度分布断面の平面配置と被災宅地分布（A地区）
※この図は速度層断面図を平面図にそのまま表示したものであり、平面分布を表したのではない。

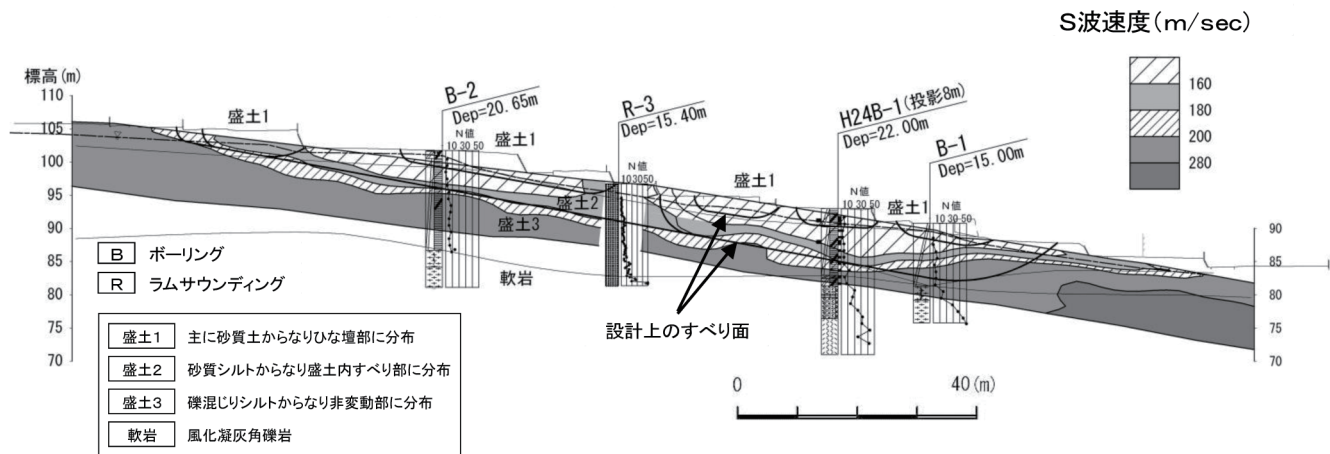


図2 地すべり的な変状を伴う滑動崩落地区におけるS波速度分布断面と設計上のすべり面（A地区）³⁾

3. 平成 24 年度以降の対応

仙台市における被災宅地の復旧・耐震対策の主体となる造成宅地滑動崩落緊急対策事業は平成 25 年 3 月までに施工に着手しなければならない。それには住民との合意がどうしても必要であった。住民との合意形成をするためには、できるだけ早く実施設計を仕上げて、住民と協議する時間を確保していく必要がある。しかし、造成宅地滑動崩落緊急対策事業では、具体的な設計手法が基準・指針として体系化されておらず、測量・調査・設計がスムーズに進む状況にはなかった。また、仙台市における事業対象地区は当初 239 地区と非常に多い状況にあった。

そこで、一連の業務をスムーズに進めること、各業者の品質を一定以上に確保すること等を目的に、調査着手から対策工事に至るまでの一連の作業についての流れ（図 3）と仙台市独自の手順書・共通設計条件（案）・標準設計図集を関係者が一体になって作成し、これらに則り業務を進めた。

表 3 に仙台市が作成した手順書等の一覧を示す。

作成した手順書のうち、安定計算方法などの特に重要な部分については、仙台市宅地保全審議会技術専門委員会においてその妥当性の確認が行われた上で運用された。運用後、不具合が出た場合は、その都度、実際の作業に即したものと改定が行われた。

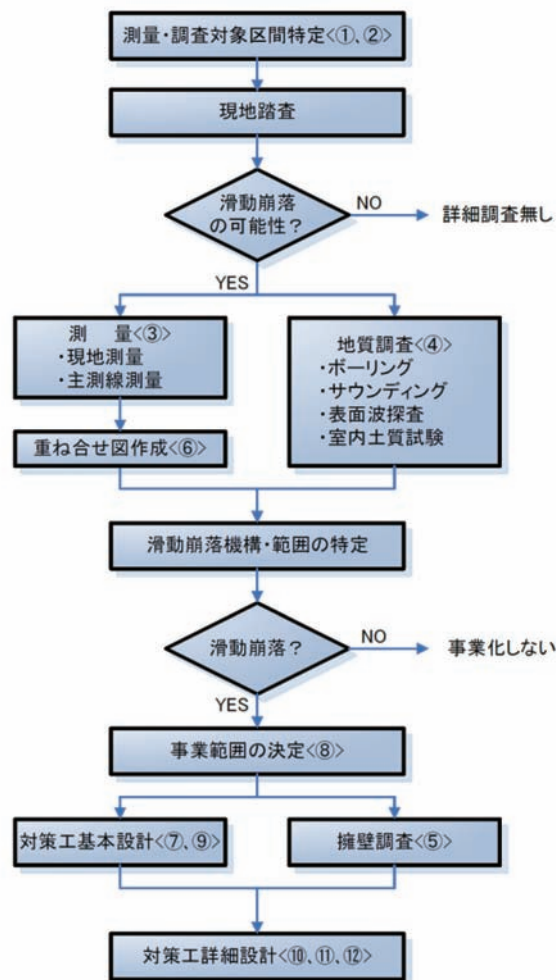


図 3 盛土造成宅地の滑動崩落の復旧・耐震対策についての調査から設計までの流れ図

表 3 盛土造成宅地の滑動崩落の復旧・耐震対策に関する各種手順書及び共通設計条件（案）・標準設計図集一覧

手順書名	内 容
N01. 調査対象区域特定手順書	測量および地質調査の調査対象区間の特定方法
N02. 測量区域特定手順書	
N03. 測量手順書	測量および地質調査の実施方法
N04. 地質調査手順書	
N05. 擁壁調査手順書	復旧対象擁壁に対する調査の実施方法
N06. 水平移動量調査(重ね図作成)手順書	震災前後の境界移動状況の把握、境界復旧方針の検討方法
N07. 安定解析手順書	すべり面の特定および安定計算の実施手法
N08. 事業対象区域設定手順書	事業対象可否の判断方法
N09. 対策工(案)基本設計手順書	対策工等の基本設計手法
N010. 擁壁復旧方法特定手順書	現地状況に応じた擁壁復旧方法の選定
N011. 各構造物の設計手順書	各構造物等の詳細設計手法
N012. 宅地造成計画の考え方	宅地造成計画
— 共通設計条件(案)	詳細設計を行う際の条件
— 標準設計図集	各工種に対しての標準設計図

5. おわりに

震災後4年が経過しようとしている。長いようで短く、しんどくも充実した4年間であったと思う。仙台市の宅地災害は大規模であったことから国は、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」²⁾などに反映し、今後、大都市圏で予想される大地震に対して、少しでも迅速かつ的確な対応ができるように検討を進めている。

この現場を通じて、多くの先生や行政の方、技術者と交流ができ、自分の技術者としての幅を広げてくれた。

現在、対策事業は終盤にかかっているが、いち早く完了することを願っている。

〈参考文献〉

- 1) 被災宅地危険度判定連絡協議会：被災宅地の調査・危険度判定マニュアル、擁壁・のり面等被害状況調査・危険度判定票作成の手引き
<http://www.hisaitakuti.jp/download.html>
 (2015年2月13日現在)
- 2) 国土交通省都市局：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説 <http://www.mlit.go.jp/toshi/web/index.html>
 (2015年2月13日現在)
- 3) 門田浩一, 佐藤真吾, 三嶋昭二, 比留間誠之：東北地方太平洋沖地震における仙台市の被災造成宅地の復旧及び耐震対策, 地盤工学会誌, Vol61, No4, pp26-29.2013.4
- 4) 仙台市宅地保全審議会技術専門委員会：第4回資料, 2011.7.1
- 5) 仙台市復興事業局宅地復興部：仙台市宅地復旧対策修正設計業務委託その2報告書, 2014.2

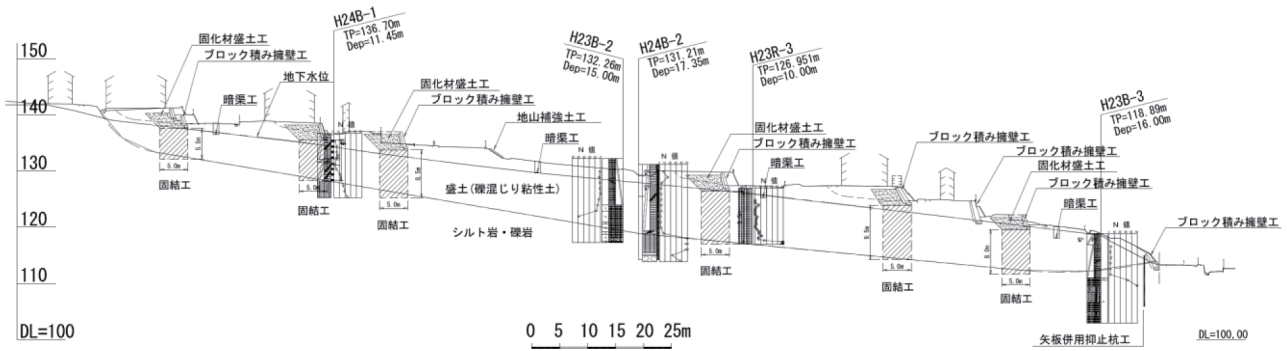


図5 B地区における耐震対策工断面図⁵⁾

各地の博物館巡り

新潟県新潟市

新潟県立自然科学館



新潟県立自然科学館正面玄関付近

はじめに

新潟県立自然科学館は、新潟市の鳥屋野潟湖畔に建設された総合科学館です。この施設は、新潟県の立県100年を記念して、県民の自然科学に関する教養を高め、県民文化の向上に寄与することを目的とした文化施設として、昭和56年11月に開館しました。

科学館では、展示や特別展、イベント等の開催、プラネタリウムの投映、科学教室の開催などを実施しており、県内の自然科学分野における中核的な施設としての役割を担っています。「見て」「触れて」「遊んで」学べる参加・体験型の展示が充実した総合科学館です。

展示内容

展示内容のテーマは、次のようになっています。

●自然の科学 2階・3階

天文・宇宙、地球、地球の変遷・生物の進化、新潟県の動植物、ブナ林の環境と生物、恐竜の体と暮らし、楽しい実験室、科学の目

●生活の科学 2階・3階

バーチャルリアリティとマルチメディア、くらしの科学、化学と工場、エネルギー、生活を豊かにするロボット、新エネルギーと地球環境保全、機械の科学、乗り物の科学

●屋外展示

実際に使われていた乗り物や自然の植物・生物の観察

●プラネタリウム

日本海側最大級のプラネタリウム

このページでは、地学に関するコーナーを紹介합니다。

天文・宇宙コーナー

このコーナーの中心には、5000万分の1の迫力ある太陽系惑星の模型がぶら下がっており、まず、訪れた人が宇宙空間にいざなわれた感覚になります。さらに、宇宙空間を飛び回る放射線を目に見えるようにした霧箱や手で触れられる本物の隕石が展示されています。そして、「銀河系体験の旅」と題したシアターが常時上映されており、楽しみながら宇宙を学ぶことができます。



写真1 触れられる本物の隕石

地球コーナー

このコーナーでは、「地球は生きている」をテーマとし、中心には、直径2.4m、縮尺500万分の1の大地球儀が設置されています。この大地球儀は、陸地の起伏だけではなく、海底の地形も表現されており、地球全体がどのような姿をしているか、地球の表面や深部がどのように動いているか、大地球儀の周りにぐるりと設置された解説パネルで知ることができます。

また、岩石・鉱物標本の展示は、地球を構成している物質としての解説付きで、観察することができます。



写真2 大地球儀

地球の変遷・生物の進化コーナー

このコーナーは、太古の時代から現在に至るまで、地球、そして新潟県がどのように変化してきたか、地形地質と生物の変遷が紹介されています。

新潟県内で採取された化石や野尻湖で発掘されたナウマンゾウの全身骨格も展示されており、太古の昔の新潟県周辺の環境を学ぶことができます。



写真3 新潟県の地形地質の生い立ちと各時代にできた岩石の展示

恐竜の体と暮らしコーナー

このコーナーは、約2億年前の中生代と呼ばれる時代に繁栄していた恐竜をテーマに、恐竜や植物の化石が展示されています。また、「親子恐竜マイアサウラ劇場」というティラノサウルスの親子とトリケラトプスの実物大のジオラマが、物語のナレーションに応じて動き、中生代の恐竜の様子を大迫力で実感することができます。



写真4 恐竜・植物化石の展示



写真5 恐竜のジオラマ

一般情報

●住所・電話番号

新潟県新潟市中央区女池南3丁目1番1号
TEL：(025) 283-3331 FAX：(025) 283-3336

●アクセス

- 新潟駅からバスで約25分
- 新潟バイパス桜木インターから車で約3分
- 高速道路新潟中央インターから車で約6分

●料金

- 入館料

個人	大人 570円	小・中学生 100円
団体	大人 460円	小・中学生 100円
- プラネタリウム

個人	大人 780円	小・中学生 200円
団体	大人 670円	小・中学生 200円

●開館時間

- 10:00～17:00 (入館は16:30まで)

●休館日

- 毎週月曜日 (月曜日が祝日または振替休日の場合は翌日)
- 年末年始 (12月29日～1月3日)

[北陸地質調査業協会 技術委員 (株)キタック 平野 吉彦]

大地の恵み

西の京やまぐち「湯田温泉」

1. はじめに

山口市は、山口県のほぼ中央に位置し、豊かな自然や歴史が共存する文化都市で、県庁所在地です。室町時代に大内弘世が、ここ山口市を大内氏の本拠としたことで発展し、その後の大内義興・義隆の頃には西国一の大名として栄華を極めました。また、幕末には萩市から山口市に藩庁が移され、明治維新の中心的役割を果たします。これら維新の志士や文化人も入浴したと言われるのが「湯田温泉」です。

「湯田」の名は、「湯が湧き出る田地」からついた地名であることはもちろんです。無色透明のアルカリ性単純温泉の泉質は変わらず、温度も低下せず、湯量も減らず、旅館など30有余の温泉施設を支え、山陽路随一の泉都を誇ります。



図-1 湯田温泉の案内図¹⁾



写真-1 県道204号に設置してある歓迎看板

2. 湯田温泉の起源

湯田温泉の湯は、いつごろから出たのかと言うと、正治2(1200)年の国衙文章に「湯田」という地名があったことから、少なくとも810年前、むしろそれよりももっと古い時代から出ていたとも言われています。

温泉発見の伝説では、永正年間ごろ湯田の権現山の麓にあったお寺の境内にある小池に、毎晩一匹の白狐が傷ついた足をつけにきます。不思議に思ったその和尚が、池の水をすくってみると温かさが感じられました。そこで、近所の百姓達に池の近くを掘らせたところ、熱い湯が湧き出るとともに、薬師仏の金像が出てきたので、温泉の守護仏としてお堂を建てたそうです。この仏像を拜んで、湯あみをすると難病も治る「白狐の湯」として評判になり、温泉は栄えるようになったという伝説です。

もう一つの伝説では、ひじの痛みに苦しむ大内義興のところに一人の老僧が訪れ、小壺の水を注いだところ、たちまち病気は回復しました。老僧は、「温湯竜泉の地に住む者」と告げ、義興愛用の硯を貰って立ち去りました。その後、朝倉の小堂にその硯が置かれていたので、義興は付近の小池に手を浸してみたところ温みを感じられ、百姓を集めてそこを掘らせました。こうして温泉は発見され、大永5(1525)年に「温湯山竜泉寺」が建立されたという縁起がそれです。

3. 湯田温泉の泉質

湯田温泉の泉質は、アルカリ性単純温泉で、肌によく馴染む、軟らかい湯が特徴です。無色透明の湯で、7つの泉源(集中監視)の最高温度は72℃となっています。神経痛、筋肉痛、関節痛、五十肩、運動麻痺、関節のこわばり、うちみ、くじき、慢性消化器病、ち疾、冷え性、病後回復期、疲労回復、

健康増進に効力があるため、昔から多くの人々に親しまれ、そして愛されてきました。しかし、一番の特徴は豊富な湯量、2,000 t/day もの天然温泉が湧き出ているのです。表-1 に湯田温泉の温泉分析結果表を示します。湯田温泉が「美肌の湯」と言われる理由は、pH 値 = 9.14 とアルカリ性が高い泉質なので、クレンジング効果（お肌スベスベ）があるからです。

表-1 湯田温泉分析結果表

泉源名	湯田温泉ミックス泉	
泉質名	アルカリ性単純温泉	
泉温	63.6℃	
温泉の成分		
知覚的試験	無色透明、無味無臭	
pH値	9.14	
ラドン	Rn[0.98 × 10 ⁻¹⁰ Ci/kg]	
蒸発残留物	0.596g/kg	
密度	0.9985	
浴槽温度	約41℃	
温泉1kg中の成分(分量及び組織)		
1.陽イオン	成分	分量(mg)
	ナトリウムイオン	206.80
	カリウムイオン	4.12
	カルシウムイオン	6.55
	ストロンチウムイオン	0.18
	アルミニウムイオン	0.02
	リチウムイオン	0.04
	陽イオン計	218.08
2.陰イオン	成分	分量(mg)
	フッ素イオン	11.42
	塩素イオン	274.80
	炭酸水素イオン	15.00
	炭酸イオン	15.96
	硫酸イオン	12.02
	水硫イオン	0.02
	水酸イオン	0.24
	リオ酸イオン	0.02
	陰イオン計	329.48
3.遊離成分	非解離成分	分量(mg)
	メタケイ酸	72.43
	メタホウ酸	6.55
	計	78.98
分析年月日及び分析者	平成19年12月19日 山口県環境保健センター	

また、温泉の熱源には、「火山性」と「非火山性」があるが、「非火山性」の源泉の場合は42℃を超えない場合がほとんどです。しかし、湯田温泉は「非火山性」でありながらも70℃を超えており、県内の温泉の中では最も高い値を誇っています。

山口大学大学院の研究結果によると、湯田温泉の一带には、周防変成岩が広がり、活断層の活動で生じた地溝帯などに、広範囲の地下水が活断層に沿って流れ込んでおり、集中した地下水がひび割れの多い貫入岩を通して、更に深い場所にある熱源で温められた後、再び地表近くに上昇してい

るそうです。それが、豊富な湯量と高い温度の秘密なのかもしれません。

4. 湯田温泉付近の名所

(1) 湯田温泉駅

湯田温泉駅は、湯田温泉街より南側に位置するJR西日本山口線の駅です。駅構内には、めずらしい観光用駅名標（写真-2）が設置されており、駅舎正面脇には、湯田温泉旅館協同組合のマスコットキャラクターである「白狐 ゆう太」の高さ8メートルの像があります（写真-3）。



写真-2 観光用駅名標



写真-3 駅舎全景

(2) 足湯

湯田温泉街には、無料で利用できる「足湯」が6箇所あります（図-2）。足湯にしばらくの間足をつけていると、全身がポカポカと温まります。地元の方や観光に来られた方、色々な人と気軽に交流できる憩いの場です。

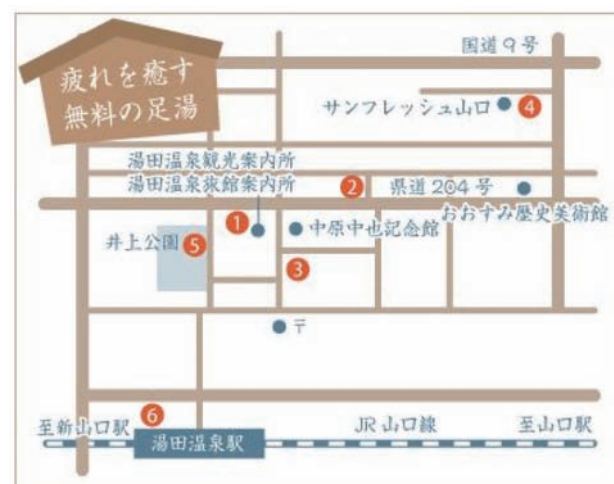


図-2 湯田温泉足湯マップ²⁾

①湯田温泉観光案内所前

県道204号沿いにあり、わかりやすい場所です。併設する飲泉場で「湯田温泉」の湯を味わうこともできます（写真-4）。

②湯の香通り

路地にあるため、落ち着いた中でゆったりと過ごすことができます（写真-5）。



写真-4 観光案内所前

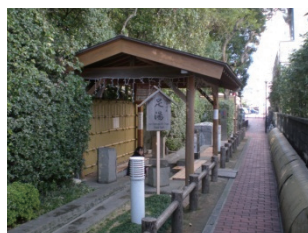


写真-5 湯の香通り

③湯の町通り

ここの足湯は、女性がストッキングなどを脱ぐための簡易脱衣場が併設されています(写真-6)。

④サンフレッシュ山口

他の足湯よりも少し離れたところにあります。泉源に近く、温泉の香りがします(写真-7)。



写真-6 湯の町通り



写真-7 サンフレッシュ山口

⑤井上公園

井上公園の中にあります。明治の志士、井上馨の銅像や湯田温泉にゆかりある詩人中原中也の句碑や俳人種田山頭火の句碑など、山口の歴史や文化のかいまみえるスポットです(写真-8)。

⑥湯田温泉駅前

足湯に浸かりながら、山口線を走る列車や、SL「やまぐち」号運行日には迫力ある車体を間近に眺めることができます(写真-9)。



写真-8 井上公園



写真-9 湯田温泉駅前

(3) 温泉舎 (ゆのや)

湯田温泉の源泉そのものを楽しめる観光施設「温泉舎(ゆのや)」。覗き窓からは、地下500mの源泉が実際に125ℓ/minもの温泉を汲み上げる様子を見ることができます。飲泉も楽しみ、側には温泉の湯けむりを体感できる「湯の川」もあります(写真-10, 11)。



写真-10 温泉舎全景



写真-11 温泉舎内部

(4) 中原中也記念館

詩人中原中也のふるさと・山口を訪れる人々に、その風土を通じて中也の世界を感じて貰おうと、平成6(1994)年、生誕地に開館しました。生家は、湯田温泉に広い敷地を持つ大きな医院でしたが、昭和47(1972)年の火事で茶室と蔵を残して焼失。同館はその生家跡の一部に建てられ火事の際に遺族によって運び出された中也の遺稿や遺品を中心に、貴重な資料を公開しています(写真-12, 13)。当館は、平成26年2月で開館20周年を迎えました。



写真-12 案内板



写真-13 記念館正面

(5) 国宝瑠璃光寺五重塔

大内氏前期全盛の頃、25代大内義弘は現在の香山公園に、石屏子介禅師を迎え、香積寺を建立しました。義弘は応永6(1399)年に足利義満と泉州で戦い戦死。26代弟・盛見は兄の菩提を弔うため、香積寺に五重塔を造営中、九州の少貳勢と戦って戦死。五重塔はその後、嘉吉2(1442)年頃落慶しました。それからしばらくの時を経た関ヶ原の合戦の後、毛利輝元が萩入りし、香積寺を萩に引寺。跡地に仁保から瑠璃光寺を移築しました。これが今日の姿です。

全国に現存する五重塔のうちで10番目に古く、美しさは日本三名塔の一つに数えられ、室町中期における最も秀でた建造物と評されています。ちなみに、日本三名塔の他2基は、奈良県の法隆寺と京都府の醍醐寺にある五重塔です。この国宝、五重塔は観光山口のシンボルとして桜や楓の裏山を背に、大内文化を優雅に伝えています。また、日没ごろから数時間ライトアップされ、夜も見どころの一つです。

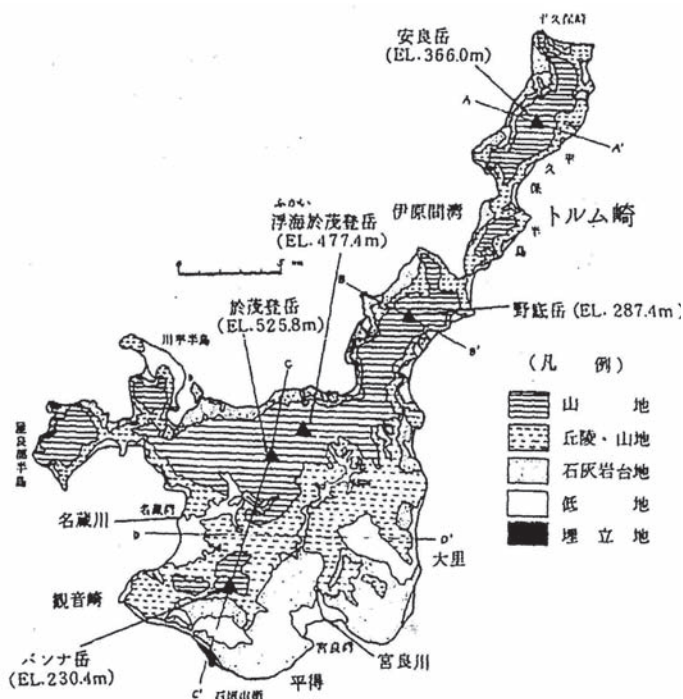
各地の残すべき

地形・地質

石垣島の地形・地質（沖縄県）

1. はじめに

石垣島は那覇から南西に約410km離れた沖縄県内では沖縄本島、西表島に次いで3番目に広い島で、概形としてはほぼ正方形に近く、北東部に細長く平久保半島が突き出ている。島のやや北に沖縄県の最高峰である於茂登岳（標高525.5m）があり、それより北は山岳地となっており、南部は隆起サンゴ礁の平地が多く、人口もこちらに集中する。南部に向かう宮良川の他にはあまり大きな川はない。



石垣島の地形区分図
ダム技術者のための沖縄の地質 沖縄総合事務局

2. 石垣島東海岸の津波石群

「石垣島東海岸の津波石群」の名称で2013年10月17日付で5箇所（津波石）が天然記念物（地質・鉱物）に指定されている。

指定の対象となった津波石は、科学的分析や史料等によって津波によって移動したことが裏付けられ、このうち「石垣島大浜の津波大石（つなみうふいし）（石垣市）」については、約2,000年前に発生した津波によって打ち上げられたことが、付着したサンゴの分析などにより科学的に裏付けられ、残る4つについては、1771年の八重山地震による津波（明和の大津波）で移動したとの記録が、被害状況の報告書である「大津之時各村之形行書」の末尾に収録された「奇妙異変記」に残っている。

天然記念物に指定された津波石の紹介

・津波大石（つなみうふいし）

石垣島南東部の大浜にある崎原公園（石垣市字大浜下屋敷地）にあり、長径12.8m、短径10.4m、高さ5.9mで、推定重量1,000トンの巨大なサンゴ石灰岩の岩塊で、表面に付着したサンゴの年代を分析した結果、1771年の明和の大津波ではなく、先島津波と名付けられた約2,000年前の津波によって打ち上げられたものと考えられている。

・高こるせ石（たかこるせいし）

石垣島南東部の大浜（石垣市字大浜船着原）の畑地にあり、2,000年前の先島津波でコルセ御嶽に運ばれた石が、明和の大津波で再び北方に約600m移動したのと考えられている。

・あまたりや潮荒（あまたりやすうあれ）

石垣島中部の伊野田（石垣市字桃里伊野田）の海岸から約200m離れた畑地にあり、産後石灰岩で推定重量は約300トンで、「奇妙異変記」には、元々

ありたりやという浜の沖合い約3町(約327m)にあった2つの石が、津波によって浜から約2町(約218m)の内陸に移動したという記載がある。

・安良大かね(やすらうふかね)

石垣島北部の平久保半島の安良(石垣市平久保平久保牧)の浜辺にあり、直径7.5m、高さ2.4m。サンゴ石灰岩ではなく流紋岩で、鉄分を多く含んでおり赤く見える。

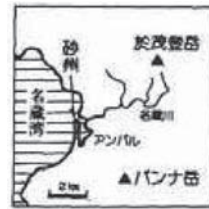
・バリ石

石垣島北部の平久保半島の伊原間の東側、トムル崎とヤバガ崎間のヤバガ浜にあり、直径9m、高さ3.6m、推定重量220トンのハマサンゴで、津波で打ち上げられたハマサンゴとしては世界最大とされる。付着したサンゴの分析等から、明和の大津波で打ち上げられたものと考えられている。

3. 日本最大の沈水カルスト地形

於茂登岳を源に発して流れる名蔵川の河口に名蔵湾はあり、河口部は広いヒルギの湿地(マングローブ)になっており、「名蔵川アンパル」と呼ばれ、多くの野鳥が舞い、石垣島に残された最大の湿原である。

その名蔵湾で「石垣島で発見された日本最大の沈水カルスト地形」として九州大学大学院比較社会文化研究院の菅浩伸教授らの研究グループが九州



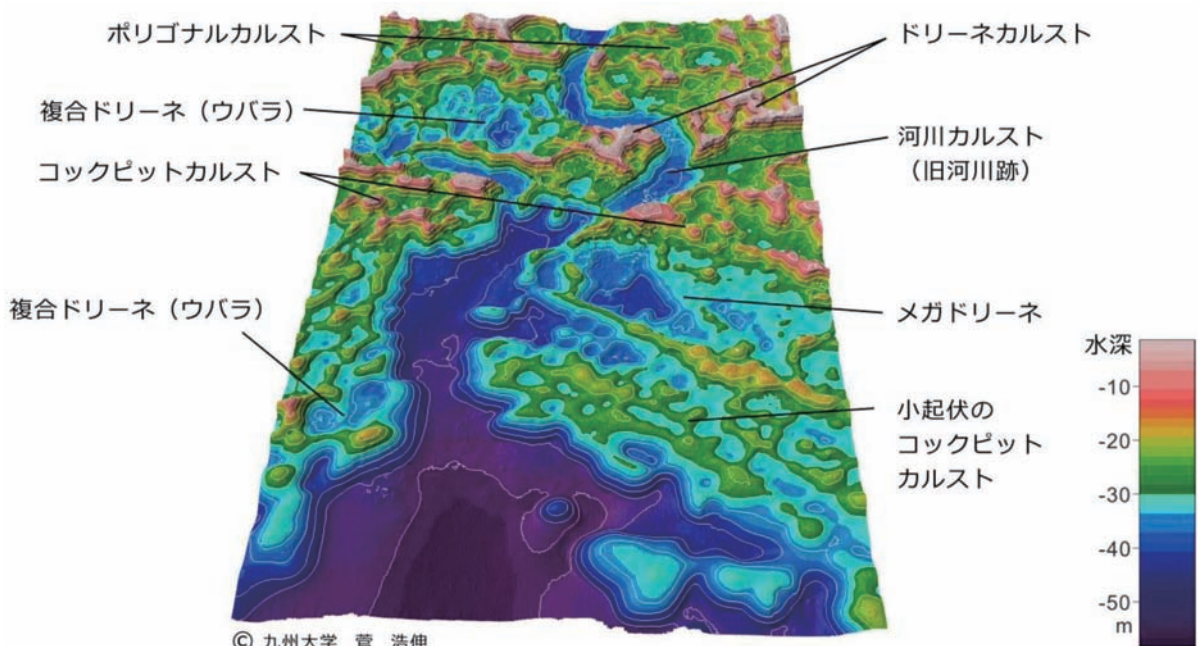
大学HP公開している。(http://www.kyushu-u.ac.jp)

石垣島の名蔵湾で沈水カルスト地形を発見し、三次元海底地形図を発表している。湿潤温帯域の沈水カルスト地形が、高解像度の海底地形図によって可視化されるのは世界で初めてで、名蔵湾の沈水カルスト地形は日本最大級であり、沈水ドリーネ(くぼ地)群や氷期に発達した河川跡など、極めて多様な地形がみられることが分かった。

その内容としては、石垣島名蔵湾中央部の1.85×2.7kmの範囲でマルチビーム測深機を用いた三次元地形測量を行い、大規模な沈水カルスト地形があることを発見した。

測深域(水深1.6~58.5m)を1mグリッドの高解像度で可視し、これを基にした潜水調査などを実施することによって、名蔵湾の沈水カルスト地形が多様な形態と環境を持つことが明らかになった。名蔵湾で認められたカルスト地形は、1) ドリーネカルスト、2) 複合ドリーネ(ウバラ)およびメガドリーネ、3) コックピットカルスト、4) ポリゴナルカルスト、5) 河川カルスト(旧河川跡)の5種類。これらは、湿潤熱帯地域でカルスト地形です。

[株式会社海邦技研 町田 宗一]

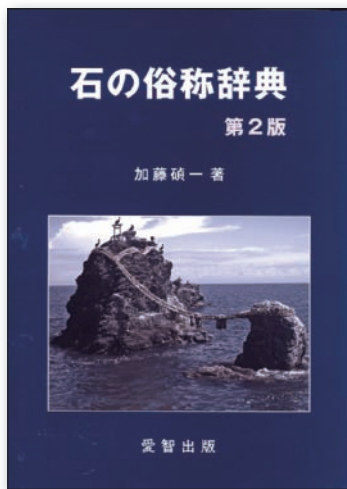


© 九州大学 菅 浩伸

名蔵湾の沈水カルスト地形(図の幅1.85km, 奥行2.7km)

石の俗称辞典 第2版

加藤 碩一著*



書 名が第2版とされているように、1999年に出版された「石の俗称辞典－面白い雲根志の世界」の増補改訂版にあたり、新たに200枚の写真が掲載されて親しみやすいものになった。筆者の言う「石の俗称」とは、石の人との関わりから生まれた名前のごとで、学術用語（術語）として定義され用いられる石の名称（岩石名や鉱物名）以外の石の総称であり、「千畳敷」「夫婦岩」「鬼の洗濯岩」といったような侵食作用でできた岩盤の形状なども含んでいる。具体的には、石材名・業界用語（例：土工用語・造園用語）・奇岩怪石の俗称・石塊の俗称（例：盆石・水石の種類名・個々の銘や独自の岩種名）・宝石業界用語・石造物の名称（例：石舞台）・石彫物の名称（例：臥牛石）・伝説・民話や言い伝えにまつわる石の名称（例：腰掛石）・空想上の石名（例：飛行石）など科学的に厳密ではないが広範囲の石の俗称を含んだものとなっている。

日本人ほど石に畏敬の念をもち拝み、石と親しみ名前を付け、石にあれこれの歴史や思いを付度

し、種々楽しむ民族は少ないと思われる。本書の主旨は、まえがきに記されているように「石」に関する日本語の語彙の豊穡さを紹介し、世界に冠たる「石言葉文化」を楽しみながら、祖先らの「石」にまつわる生活・信仰の慣習などを知り、後世に伝える一助にするとともに地質学の普及啓発を意図するものとされる。評者としては単なる観光目的で付けられた俗称には抵抗を感じるが、それほど肩肘張らず楽しめようとの誘いに乗せられてしまう。

本書は“我が国の石の文化誌”と言えるものであり、これを材料としていろいろな視点からまとめることができ、以下にいくつか事例を紹介する。

わが国でもっとも著名な石材名は、「御影」であり兵庫県神戸市の産地名に由来する白亜紀花崗岩であるが、岩石学的には花崗閃緑岩・花崗斑岩・石英閃緑岩なども含む。また、色合いによって「御影」を分類する場合も多くあり、「黒御影」は閃緑岩や斑岩である。さらには非深成岩質の「御影」さえある。形態も単純に垂直な「屏風岩」、水平な「畳岩」、柱状の「立岩」、大小の岩塊の「夫婦岩」「親子岩」や「陰陽石」など全国各地にあり、岩質も成因も様々である。（なお、申し込みの際は、全地連会員である旨記していただき、愛智出版までメール等でご連絡いただければ、特別割引価格¥6000、送料無料となります。）

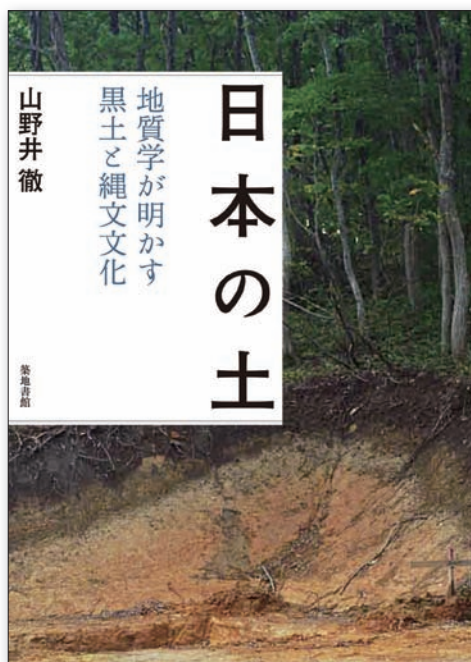
(応用地質株式会社)

- 著者：加藤碩一（産業技術総合研究所名誉リサーチャー）
- 発行所：（株）愛智出版
〒191-0065 東京都日野市旭が丘 1-14-13
- mail：aichishuppan@pop06.odn.ne.jp
- 発行日：2014年10月28日

*産業技術総合研究所名誉リサーチャー

日本の土 地質学が明かす黒土と縄文文化

山野井 徹著*



土 とは何？ と問われても、土を相手の職業人にとっても、漠然としていて即答はできない。この本での土とは、「表土」のことである。では表土とは何？ と限定されてもやはり困る。表土は地質調査では地層や岩体を覆い隠す厄介者であったから、無視をしていたし、ボーリング柱状図では、その頭にちょこんと置きさえすれば、それですんだ。深く考える必要のない相手であった。しかし、自然の大地のほとんどは表土でおおわれているので、それなりの生まれや育ちの歴史があるはずである。でも、それを知ったところで業務に直接役立つことは少ないであろう。しかし、地質に関する専門性を高めようとする

ば相応に広い裾野が必要になる。そうした要望が、大地を相手の職業人にあるとすれば本書を推薦する。

内容は単なる既知事項の解説ではなく、土にまつわる諸疑問が探求され、解明されていく。疑問の中心にクロボク土（黒土）におかれているが、解かれる諸疑問には次のようなものがある。

- 土器はなぜ土の中に。
- 関東ロームは火山灰か。
- クロボク土は火山灰か。
- 土壌は新鮮な岩石が風化してできるのか。
- 土壌は地層累重の法則が成り立つか。
- 土の形成に関するダーウインの実験とは。
- 日本の表土に残る永久凍土の痕とは。
- ネオエロージョンとは。
- 表土のリセットとは。
- 地すべり地で形成される地層とは。
- 山地の普通斜面は侵食か堆積か。
- 表土の岩質とは何か。
- クロボク土はなぜ黒いのか。
- クロボク土が1万年より新しいのはなぜか。
- 縄文人はなぜ野焼き・山焼きをしたか。

(全地連 土屋 彰義)

● 著者：山野井 徹

● 発行所：築地書館

2015年2月27日発行

A5判 249頁

定価：本体 2300+ 税

*新潟大学大学院修了、新潟県庁、山形大学教養部・理学部教授、同名誉教授、東北大学総合学術博物館協力研究員

書籍紹介

地盤情報の利活用促進のためのガイドブック

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

1. はじめに

全地連では、地盤情報の利活用を促進するため、2種類のガイドブックを作成してまいりました。これらのガイドブックは平成26年10月に完成し、すでに全地連の資料公開サイト「全地連 e-Learning センター > 地盤情報関連ガイド」に掲載しています。

<http://www.zenchiren.or.jp/geocenter/>

2. 地盤情報の電子納品ガイドブック

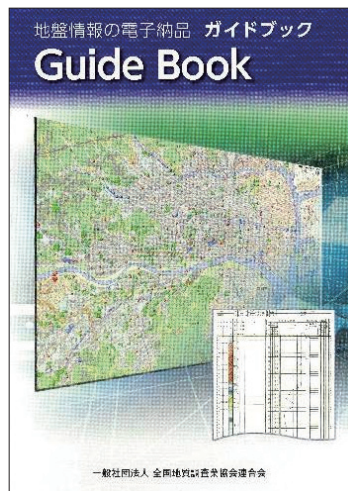
国土交通省では、CALIS/ECの一環として、平成13年度より直轄事業を対象に成果の電子納品を開始しています。

電子納品された地質・土質調査成果は、国や地方自治体において別の事業の参考資料などとして内部利用するのみならず、広く一般に公開されて各種の基礎データとして再利用されるなどの事例が増えています。

電子化された地質・土質調査成果の利用

-公開についての検討が今後進んでゆくこととなりますが、再利用するための環境を整備・構築することにより、地盤情報の利活用の道筋が明確になります。

本ガイドブックでは、こうした近い将来を見据えて、国土交通省が定める「地質・土質調査成果電子納品要領（案）平成20年12月版」の内容について分かりやすく解説するとともに、電子納品の現状や課題などについても紹介しています。

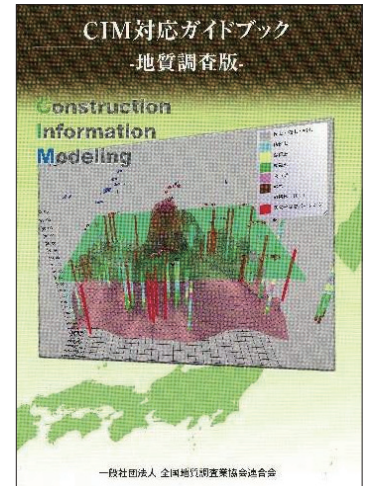


3. CIM 対応ガイドブック - 地質調査版 -

国土交通省では、現状における CALIS/EC の課題を改善・発展させた CIM の導入を計画しています。CIM は、`属性を付与した三次元モデル、を構築・利用することを前提としており、ICT を駆使して設計から維持管理にいたる業務の改善・効率化・品質・環境性能向上、ライフサイクルコストの縮減などを目指しています。さらに CIM では、CALIS/EC の各フェーズ間におけるデータ受け渡しの流れが、すべての関係者が構築した三次元モデルにより情報を共有する流れに、大きく変わります。

このように、CIM の導入により業務の流れや成果などが大きく変わることが予想されており、地質調査業務もこの変革に対応しなければなりません。

本ガイドブックでは、CIM の概要や地質調査における利活用の事例などについて紹介しています。



4. おわりに

地盤情報の利活用に関する理解向上の一助として、これらのガイドブックをご活用ください。

なお、今年度、札幌、東京、大阪、広島の4会場において、上記に関連した講習会の開催を予定しています。講習会の詳細については、全地連ホームページでご確認ください。

「地質と調査 全面カラー版」 Web サイトのご案内

一般社団法人全国地質調査業協会連合会
「地質と調査」編集委員会

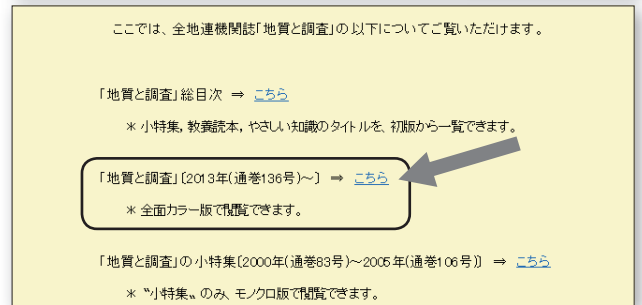
全地連機関紙「地質と調査」は、印刷発行する本誌とは別に、全面カラー版をホームページに掲載しています。次の手順で、どなたでもご覧いただけます。

1 全地連ホームページにアクセスしてください。
URL <http://www.zenchiren.or.jp/>

2  ここをクリック。

3 この画面から、次の3つに進めます。
▶ 「地質と調査」総目次
▶ 「地質と調査」〔2013年（通巻136号～）〕
▶ 「地質と調査」の小特集
〔2000年（通巻83号）～2005年（通巻106号）〕
中央部にある「こちら」をクリックしてください。

4 閲覧したい号を選択して、クリックしてください。



会 告

平成 27 年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士（一次）】

全地連の資格検定試験（地質調査技士，地質情報管理士，応用地形判読士）は，平成 27 年 7 月に全国 10 会場で実施いたします。受験資格や申込方法などに関する詳細は，4 月 10 日（金）に全地連のホームページに掲載いたします受験の手引きをご覧ください。

○資格検定試験 実施概要（3つの資格検定試験は，同日程・同会場で実施いたします）

試験日：平成 27 年 7 月 11 日（土）

申込期間：平成 27 年 4 月 10 日（金）～5 月 11 日（月）

試験会場：全国 10 会場

（予定）札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、沖縄

申込方法：受験手引きや受験願書は，全地連のホームページからダウンロードし入手してください。

平成 27 年度 道路防災点検技術講習会 開催案内

平成 27 年度「道路防災点検技術講習会」を下記のとおり開催いたします。

本講習会は，最近の災害事例を紹介するとともに，①『点検要領（平成 18 年 9 月 29 日付け事務連絡資料）』の改訂点，②点検箇所の抽出方法，③具体的な着目点などをわかりやすく解説することを目的としております。講習会の詳細や参加申込書は，全地連のホームページをご覧ください。

なお，本講習会はここ数年，各会場ともに多くの方々にご参加を頂いております。参加ご希望の方は，お早めにお申し込みください。

▶▶▶ <http://www.zenchiren.or.jp/>（全地連ホームページ）

【道路防災点検技術講習会 開催概要】

■開催日／開催場所：

仙 台：平成 27 年 6 月 19 日（金）フォレスト仙台

東京 1：平成 27 年 7 月 3 日（金）連合会館

新 潟：平成 27 年 9 月 4 日（金）新潟県自治会館

大 阪：平成 27 年 10 月 9 日（金）天満研修センター

広 島：平成 27 年 10 月 30 日（金）メルパルク広島

東京 2：平成 27 年 11 月 13 日（金）連合会館

■主 催：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

■後 援：独立行政法人 土木研究所

■協 賛：一般財団法人 経済調査会

■参加費（テキスト代，税込み）

会員 7,200 円 ※会員対象：全地連会員企業の職員，地質調査技士，地質情報管理士，
応用地形判読士・判読士補・マスター，官公庁の職員

一般 8,200 円

*本講習会は，ジオ・スクーリングネットを運営する“土質・地質技術者生涯学習協議会”が開催を確認しており，CPDの加点対象となっております（加点ポイント：6）。

◎プログラム（予定）

9:30～9:35	開会挨拶
9:35～11:05	点検の有効性と災害の低減に向けて
11:05～11:50	道路防災点検要領（H18）の概要
12:50～14:50	安定度調査における点検の着目点
15:00～16:30	安定度調査表作成演習（事例研究）
16:30～16:50	防災点検結果入力プログラム
16:50～	閉会

◎テキスト

講習会テキストには、「道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）」を使用します。このテキストは、道路保全技術センターが平成21年5月に作成した同名の手引きに準拠し、「巻末資料」について平成23年10月と平成26年10月に全地連道路防災点検技術委員会が更新したものです。

◎主な受講対象者

- 『点検要領（平成18年9月）』の改訂内容を習得されたい方
- 新たに道路の維持管理を担当される官公庁の職員の方
- 新たに道路防災点検業務に携わる技術者の方
- 災害事例などについて新たな知見を広めたい方 など

平成26年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者 22名が決定

第3回目となる本検定試験（二次試験）は、今年2月、全地連の理事会において22名の合格者を決定いたしました。なお、合格者は、資格登録申請を行うことで「応用地形判読士」の称号が付与されますが、今回の合格者全員が登録申請を行うことで、「応用地形判読士」の登録者人数は51名となります。

平成26年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者

受 験 番 号				
9122007	9124003	9124012	9124077	9125012
9126067	9127008	9128015	9131010	9131067
9131125	9131126	9131132	9131151	9141003
9141010	9142007	9144017	9144021	9145001
9146002	9146006	—	—	—

地質調査業務の積算基準について

—国土交通省 職種区分「普通作業員」の見直しと全地連の積算基準書（赤本）の対応—

国土交通省は、平成27年4月以降、調査業務の積算で使用する職種区分「普通作業員」と「地質調査員」の2つを統合し、新たな「地質調査員」として積算を開始する見込みです（平成27年2月末時点）。

この見直しは、「普通作業員」の雇用環境などの実態を鑑みて実施されるものであり、積算上では「普通作業員」に該当していた技術社員の雇用経費を、より適切に計上するための見直しといえます。

なお、「普通作業員」については、調査業務の積算上では使用されなくなりますが、従来ここで計上されていた人工数量は、ある割合をもって「地質調査員」に振り替えられる見込みです。

全地連では、国土交通省の動向に対応するため、「全国標準積算資料（土質調査・地質調査）」（通称：赤本）の見直しを行う予定です。赤本には「普通作業員」を使用する標準歩掛を多数掲載しているため、対応策を早急に検討し、ホームページ等を通じて新しい積算基準をご案内いたします。

平成 26 年度 第 3 四半期 地質調査業務事業量 616 億円

全地連の受注動向調査結果では、平成 26 年度第 3 四半期（4 月～12 月）の地質調査業務事業量が 616 億円となり、対前年比では 92% となりました。

なお、今期の地質調査業務事業量は、前年度の政府予算（いわゆる 15 カ月予算）の反動もあり、対前年比で落ち込みましたが、一昨年度との比較では約 5% 増となっております。

受注動向調査対前年比較表（4 月～12 月）

1. 月別発注動向 (社)全国地質調査業協会連合会

年度別 月別	平成25年度		平成26年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
4 月	2,246	9,087,987	2,131	8,780,887	94.9	96.6
5 月	2,355	7,674,750	2,006	6,548,049	85.2	85.3
6 月	2,316	8,856,210	2,177	9,069,780	94.0	102.4
7 月	2,458	9,533,189	2,113	8,257,317	86.0	86.6
8 月	2,072	7,413,645	1,765	6,594,881	85.2	89.0
9 月	2,111	8,127,435	1,948	6,214,061	92.3	76.5
10月	2,087	6,466,824	1,979	7,366,511	94.8	113.9
11月	1,993	5,554,972	1,707	4,615,600	85.6	83.1
12月	1,780	4,453,734	1,661	4,193,371	93.3	94.2
計	19,418	67,168,746	17,487	61,640,457	90.1	91.8

2. 地域別発注動向

年度別 地域別	平成25年度		平成26年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
北海道	1,253	6,045,148	1,117	5,085,176	89.1	84.1
東北	2,026	8,999,238	1,749	7,958,234	86.3	88.4
北陸	1,637	6,965,571	1,377	5,351,463	84.1	76.8
関東	5,363	15,144,406	5,128	14,575,207	95.6	96.2
中部	2,331	5,802,494	2,017	5,694,210	86.5	98.1
関西	1,832	6,018,005	1,615	5,467,977	88.2	90.9
中国	1,781	6,064,097	1,778	5,138,057	99.8	84.7
四国	1,103	4,492,072	945	4,596,883	85.7	102.3
九州	2,018	7,455,142	1,667	7,164,902	82.6	96.1
沖縄県	74	182,573	94	608,348	127.0	333.2
計	19,418	67,168,746	17,487	61,640,457	90.1	91.8

3. 発注機関別発注動向

年度別 発注者別	平成25年度		平成26年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
国等の機関						
国交省(建設)	817	11,857,280	689	10,409,645	84.3	87.8
農林水産省	122	1,610,124	91	1,244,878	74.6	77.3
国交省(運輸)	102	1,499,955	108	1,334,066	105.9	88.9
(旧)鉄建公団	23	381,873	31	942,657	134.8	246.9
(旧)道路公団	57	687,276	62	877,440	108.8	127.7
(旧)都市基盤	17	125,038	8	73,914	47.1	59.1
その他	361	2,608,468	273	2,532,388	75.6	97.1
小計	1,499	18,770,014	1,262	17,414,988	84.2	92.8
地方公共団体	4,834	22,790,520	4,079	19,807,004	84.4	86.9
民間	13,085	25,608,212	12,146	24,418,465	92.8	95.4
計	19,418	67,168,746	17,487	61,640,457	90.1	91.8

4. その他

項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円
海外	5	36,101	8	44,895

項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円
土壌地下水汚染調査契約金額	1,486	1,967,654	1,503	2,766,366

平成 27 年度研修 「地質調査」 開催案内

毎年、多くの発注機関の方や地質技術者にご参加を頂いております本研修につきまして、平成 27 年度は下記のとおり開催いたします。

本研修では、地質調査の手法や解析、評価手法のほか、調査計画や積算手法などについて、専門家の講義により最新の知識、技術の修得を図ることを目的としています。

特に、「地質リスクマネジメント」の講義では、地質にかかわる事業リスクについて事例を交えて解説するほか、「地質調査業務発注のポイント」の講義では、積算手法の解説をはじめ、業者選定や資格制度の活用など業務発注の段階で参考となる内容を紹介します。

なお、本研修は、発注機関の方の参加が全体の 1 / 3 前後を占めており、参加者からは産官の相互交流、情報交換の貴重な機会としても大変好評をいただいております。

皆様のご参加をお待ちしております。

平成 27 年度研修 「地質調査」 実施要領 ー地盤に関わる諸問題解決の知識と留意点についてー

共 催 一般財団法人 全国建設研修センター
一般社団法人 全国地質調査業協会連合会
後 援 国土交通省
全国知事会・全国市長会・全国町村会

1. 目的：地盤、地下水、基礎構造物などの検討に必要な地質調査に係わる計画、調査手法において、環境、防災、リスク管理の視点を採り入れながら、建設事業のトータルコストを下げる地質調査についての最新の知識、技術を短期間で体系的に修得する。
また、共同生活による相互啓発、相互交流、情報交換を通じて職場における業務の推進に資するものとする。
2. 対象職員：国、地方公共団体及び民間企業等において建設事業に携わる者
3. 募集人数：40 名
4. 研修期間：平成 27 年 5 月 13 日（水）～平成 27 年 5 月 15 日（金） 3 日間
5. 教科目：（時間割を参照）
6. 研修場所：一般財団法人 全国建設研修センター 研修会館
〒187-8540 東京都小平市喜平町 2-1-2 TEL：042-324-5315
7. 申込先及び問い合わせ先：
一般財団法人 全国建設研修センター 研修局 担当：荷出・浦上
〒187-8540 東京都小平市喜平町 2-1-2
※申込みはインターネット、郵送、FAX、メールいずれでも受け付けています。
▶▶▶ホームページアドレス <http://www.jctc.jp/>
8. 研修経費及び納入先：研修経費（1 人当たり、消費税含）
 - ① 研修会費：69,000 円
 - ② 宿泊費：5,800 円（2 泊分）※前日宿泊の場合、1 泊分（2,900 円）追加となります。
 - ③ 合計：74,800 円
9. 申込締切日：平成 27 年 4 月 27 日（月）

平成 27 年度研修「地質調査」時間割

－地盤に関わる諸問題解決の知識と留意点について－

月日	時 間	講義 時間	教 科 目	講 師	
				所 属	氏 名
5/13 (水)	8:30～ 8:45 8:45～ 9:30		受 付 開講の挨拶・オリエンテーション		
	9:30～12:00	2.5	地質調査の意義と 地盤工学的問題解決のポイント －グループ討議を含む－	株式会社 地域環境研究所 代表取締役	中 村 裕 昭
	13:00～16:00	3.0		日本大学 文理学部 地球システム科学科 非常勤講師 地盤品質判定士協議会 事務局長	
	16:10～17:10	1.0	地質調査発注のポイント	サンコーコンサルタント株式会社 技術本部 海外部長 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 積算委員会 委員	相 澤 隆 生
5/14 (木)	9:00～12:00	3.0	地質リスクマネジメント	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 技術本部 技術推進部 部長	仲 井 勇 夫
	13:00～15:30	2.5	地質調査の必要性と方法	応用地質株式会社 エンジニアリング本部 技師長室 室長	利 藤 房 男
	15:40～18:10	2.5	地質調査の計画 －グループ討議を含む－		
5/15 (金)	9:00～11:00	2.0	事例紹介 －道路防災と点検における 留意点について－	独立行政法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 地質チーム 上席研究員	佐々木 靖 人
	11:10～12:00 13:00～14:00	2.0	地下水と地盤災害	株式会社 日さく 地質調査本部 執行役員 部長	渡 辺 寛
	14:00～14:10		閉講式		

※教科目及び講師については変更することがあります。

合計 18.5h

本号では、東日本大震災以来、注目されている「津波堆積物」を取り上げました。

東日本大震災では、津波により多くの尊い命が失われたことは、4年経った今でも深く心に刻まれています。「想定外」という表現がさかんに使われましたが、地層には「津波堆積物」という状態で過去の津波の証拠がしっかりと残っていました。

確かに、今回のような津波は、数百年、千年に一度の出来事かもしれません。しかしながら、過去どのような津波が来ていたかをしっかり調査・把握することは「想定外」を作らないためにも重要です。

本号の小特集及び教養読本として執筆頂いた津波に関する8編を読むと、改めて、津波堆積物は北海道か

ら九州まで広い範囲で認められること、津波堆積物の堆積年代から過去の履歴、特に歴史地震との関係もかなり調べられていることが分かります。

但し、これらの事実を防災に役立てることは、長期的に視野を持った戦略が必要です。この度の震災で、ハード対策のみでは限界があることもはっきりしました。今後は、「津波教育」のようなソフト対策とともに、個人個人が過去を知り、謙虚に自然と向き合う姿勢が問われていると言えます。

最後になりましたが、ご多忙中にも関わらず快く執筆を受け入れて頂きました執筆者の方々には、心から感謝の意を表します。

(2015年3月 細矢記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 佐久間 春之, 中村 覚, 細野 高康, 細矢 卓志, 三木 茂, 利藤 房男, 土屋 彰義, 山本 聡, 池田 俊雄, 高橋 暁, 中川 直.
各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：高橋 克実 北 陸：津嶋 春秋 関 東：丹下 良樹 中 部：伊藤 重和
関 西：東原 純 中 国：向井 雅司 四 国：二神 久士 九 州：金田 良則 沖 縄 県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新島町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クイーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒760-0067	香川県高松市松福町 2-15-24 (香川県土木建設会館)	TEL. (087) 821-4367
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌「地質と調査」'15年1号 No.142

平成 27 年 4 月 15 日 印刷
平成 27 年 4 月 20 日 発行

編 集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイスパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

新開発の高性能 DXG アンテナ (グラントカップル型) より鮮明に・より深くを実現!

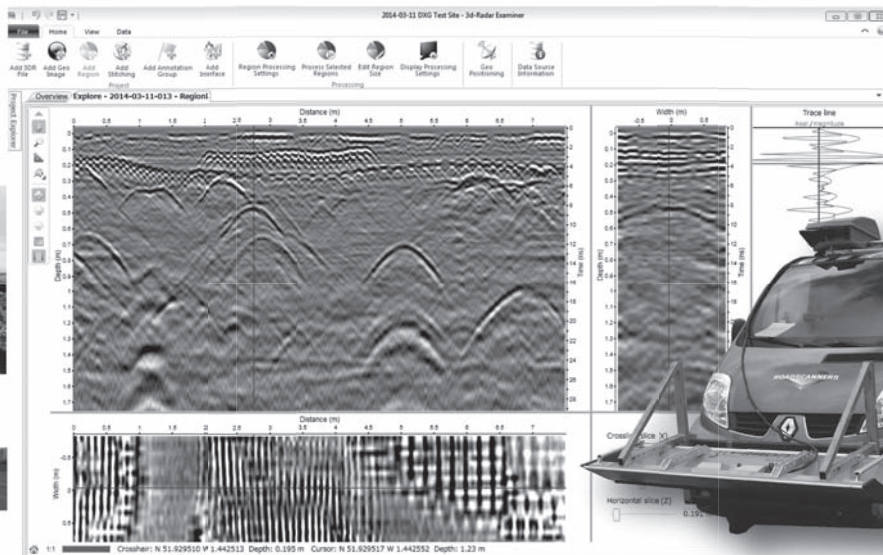
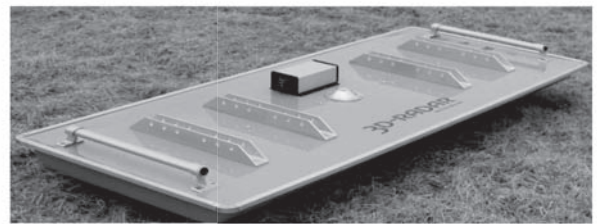
3d-RADAR は、多素子の超高帯域アンテナを 200MHz~3GHz の正弦波周波数を段階的に上げながら送信し、得られた周波数スペクトルデータをリアルタイムでフーリエ逆変換し、時間領域の地中レーダ波形を生成する革新的な 3次元 GPR です。

・新開発の DXG アンテナにより、表層から鮮明に・より深い探査深度を実現

・アンテナは 90cm (8 成分) から 240cm (28 線分) まで、多様なサイズを用意

・1 回の走行で多断面を同時に取得、空洞や埋設管の広がり・方向を容易に推定

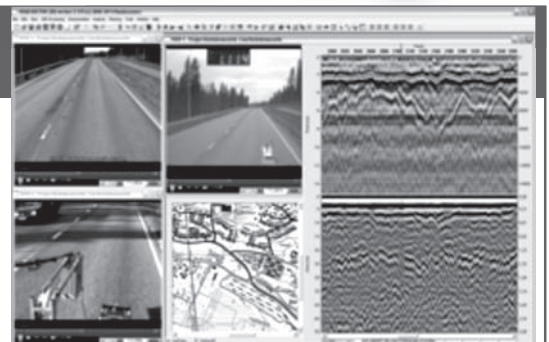
実機によるデモ、レンタル及び現場計測業務も対応可能ですので、お気軽にお問い合わせ下さい。



Road Doctor 道路管理用地中レーダ処理ソフト

Road Doctor は、道路の維持管理に特化したソフトです。
目的・用途に応じて、多様なモジュールが用意されています。

- ・測定項目に応じた地中レーダ専用の Road Doctor GPR
- ・GPR とカメラ画像を合わせた Road Doctor Cam-Link
- ・たわみ試験、道路性状等を全て統合して表示できる Road Doctor Pro
- ・GSSI、3D RADAR、IDS、MALA 等、各社 GPR データに対応可能



株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512
Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

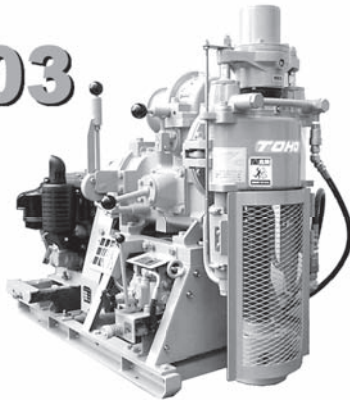
- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



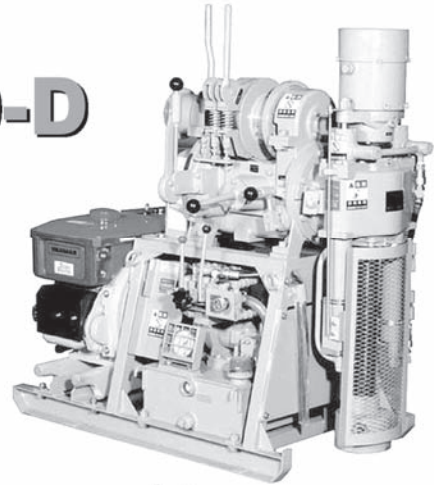
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

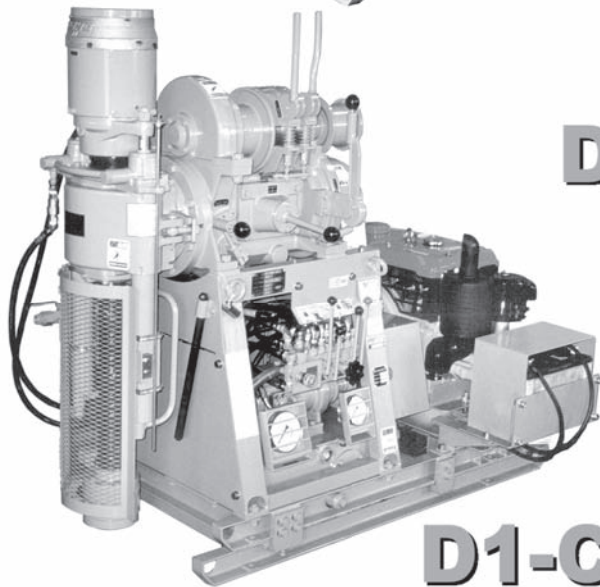
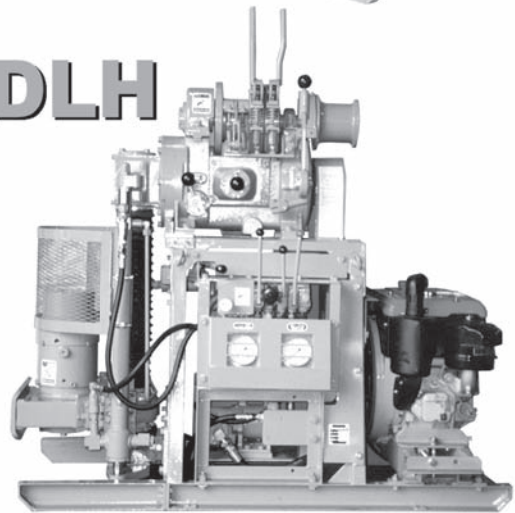
DM-03



D0-D



D0-DLH



D1-C

試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	300	400,500※	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。

※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 4-4-7 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 ☎ 092(581)3031
東京 ☎ 03(3474)4141
札幌 ☎ 011(376)1156
仙台 ☎ 022(235)0821
新潟 ☎ 025(284)5164
金沢 ☎ 076(235)3235

名古屋 ☎ 052(798)6667
大阪 ☎ 072(924)5022
松山 ☎ 089(953)2301
広島 ☎ 082(533)7377
山口 ☎ 083(973)0161
熊本 ☎ 096(232)4763

地質調査

通巻142号

●発行所

株式会社ジェイスパーク／株式会社ワコー