

＜第 58 回日本学生科学賞環境大臣賞・第 58 回静岡県学生科学賞県知事賞
・第 52 回静岡県高校生徒理科研究発表会高文連会長賞＞

1. 太田川の砂礫層は津波堆積物か？

－歴史地震による津波堆積物の認定と遡上範囲の推定－

静岡県立磐田南高等学校地学部地震気象班

2 年 中村祐哉 加藤駿 大橋俊公 1 年 村木拓斗 藤原弘平

1 動機・目的

2011 年 8 月の野外調査中に、静岡県磐田市太田川河口から約 3.5km 上流の河川改修工事現場から、白鳳津波堆積物を発見した。2013 年には、その上位に永長、明応津波堆積物も発見した。そして昨年、私たちは白鳳と永長津波堆積物の間に新たに津波堆積物と思われる砂層を発見した(図 1)。この砂層をイベント堆積物と名付けた。もし、これが本当に津波堆積物であれば、今まで不明であった東海地域における歴史地震の繰り返しを地質学的に証明でき、再来周期を確定できる初めての発見になる。しかし、これらのイベント堆積物の発見地点は太田川の自然堤防にも近いので、太田川の洪水による洪水堆積物の可能性も高い。そこでイベント堆積物が、本当に津波堆積物なのか、それとも洪水堆積物なのかを検証することにした。さらにこれが津波堆積物であれば、この津波を引き起こした歴史地震の年代を特定し、津波伝搬経路や遡上範囲を推定することにした。

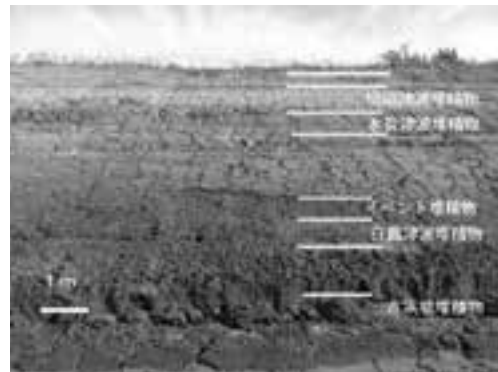


図 1 発見地点の露頭

2 調査地点

イベント堆積物が発見された地点は静岡県磐田市小島の太田川河口から約 3.5km 上流にある河川改修工事現場と元島遺跡である(図 2)。



図 2 発見地点の位置

3 方法

太田川のように河川が海岸低地の砂堤列を横切って海に流入する地域では、イベント堆積物は津波起源と洪水起源の 2 つの可能性がある。

しかし、津波堆積物と洪水堆積物の層相は、極めて酷似するため両者の識別は難しい。そこで、イベント堆積物が両者のどちらであるかを検証する方法として、これらのイベント堆積物中の砂を、現在の遠州灘の海浜砂や太田川の河床砂、過去の古浜堤堆積物や古太田川のチャネル堆積物と比較し、どちらがイベント堆積物に近似しているかで検証した。もし、イベント堆積物が現在の遠州灘の海浜砂や古浜堤の砂の特徴をもっていれば、海から運ばれたことを示し津波堆積物になる。しかし、現在の太田川の河床砂や古太田川チャネル堆積物の特徴をもっていれば、洪水堆積物になる。比較項目は砂については粒径、鉱物組成、重鉱物組成、ざくろ石の化学組成と色組成である。次に、もし津波堆積物ならば、津波を起こした歴史地震の年代を C14 法年代測定値や広域テフラの対比から特定し、その時代の古地理図を作成する。さらにハンドオーガーによる簡易ボーリング調査により津波の遡上範囲を推定する。

4 砂の性質

イベント堆積物の砂を現遠州灘、古浜堤、現太田川、古太田川の砂と比較した。粒度組成の平均粒径は、イベント堆積物は $328\ \mu\text{m}$ で現遠州灘海浜砂も $355\ \mu\text{m}$ と値が近似した。また、古浜堤堆積物は $348\ \mu\text{m}$ で、イベント堆積物や現遠州灘海浜砂に近い値を示す。一方、現太田川河床砂は $500\ \mu\text{m}$ で粗く、細かい粒子から粗い粒子まで分散が大きい。同様に、古太田川堆積物も $687\ \mu\text{m}$ でイベント堆積物の砂や海浜砂に比べ、粗粒である。鉱物組成は、イベント堆積物と現遠州灘海浜砂、古浜堤堆積物の鉱物組成は石英、長石の割合が比較的高く、重鉱物が多く含まれる。一方、現太田川河床砂、古太田川河川堆積物の鉱物組成は、石英、長石が非常に少なく、ほとんどが岩片であり、重鉱物は少ない。重鉱物組成では、イベント堆積物や現遠州灘海浜砂は雲母やざくろ石を含むが、現太田川河床砂では磁鉄鉱が多い。以上より、このイベント堆積物は粒度組成、鉱物組成ともに現遠州灘海浜砂や古浜堤堆積物の砂に特徴が近似していることから、遠州灘から運ばれてきたことが分かる。この理由は、遠州灘の砂は沿岸流により天竜川から運搬されてきており、天竜川の上流には石英、長石、黒雲母と若干のざくろ石を含む領家花崗岩、変成岩が分布しているためである。一方、太田川の上流は砂岩、泥岩を主体とする四万十帯が分布しているためである。

5 ざくろ石の化学組成・色組成

次に、堆積物に含まれるざくろ石の化学組成に着目した。ざくろ石は本校地学部地質班の研究(青島, 2011)により、遠州灘海岸の追跡指標鉱物であること、天竜川上流の領家帯から供給されていることが分かっている。したがって、このイベント堆積物中のざくろ石の化学組成が、現遠州灘や古浜堤のざくろ石の化学組成と一致すれば、イベント堆積物は遠州灘から供給されたことが証明できる。方法は、イベント堆積物と古浜堤堆積物のそれぞれから、ざくろ石を抽出し電子線マイクロアナライザー(静岡理工科大学所有)により化学組成を分析した。また、これらの化学組成を、遠州灘の海浜砂、天竜川上流の領家帯、太田川上流の赤石山地四万十帯の碎屑性ざくろ石の化学組成と比較した。この結果、イベント堆積物のざくろ石は、現遠州灘、古浜堤堆積物、中部領家帯のざくろ石と同様に Mn が最も多く、Mg と Ca が少ない。一方、太田川上流の赤石山地四万十帯のざくろ石は Mg が最も多くて Mn が少ない。また、端成分の組み合わせを変えても同様の結果を得られた、このことから、イベント堆積物のざくろ石は太田川上流ではなく、遠州灘から供給されたざくろ石であることが分かる。さらにこの結果を裏付けるため、ざくろ石の色組成分析も行った。方法は、双眼実体顕微鏡でざくろ石を撮影し、画像処理ソフトを用いて色を R (レッド)、G (グリーン)、B (ブルー) 成分に分離した。イベント堆積物、遠州灘、古浜堤堆積物のざくろ石は、それぞれ R 約 41%、G 約 33%、B 約 26% で近似している。この結果からも、イベント堆積物のざくろ石は遠州灘から供給されていることが確認できた。

6 イベント堆積物と他の堆積物の比較のまとめ

砂の鉱物組成や粒径、ざくろ石の化学組成や色組成から、イベント堆積物は遠州灘海浜砂、古浜堤堆積物の特徴には類似しているが、現太田川河床砂、古太田川河川堆積物とは特徴が異なっている。以上のことからイベント堆積物は太田川上流から供給されたものではなく、遠州灘から供給されたものであることが分かる。

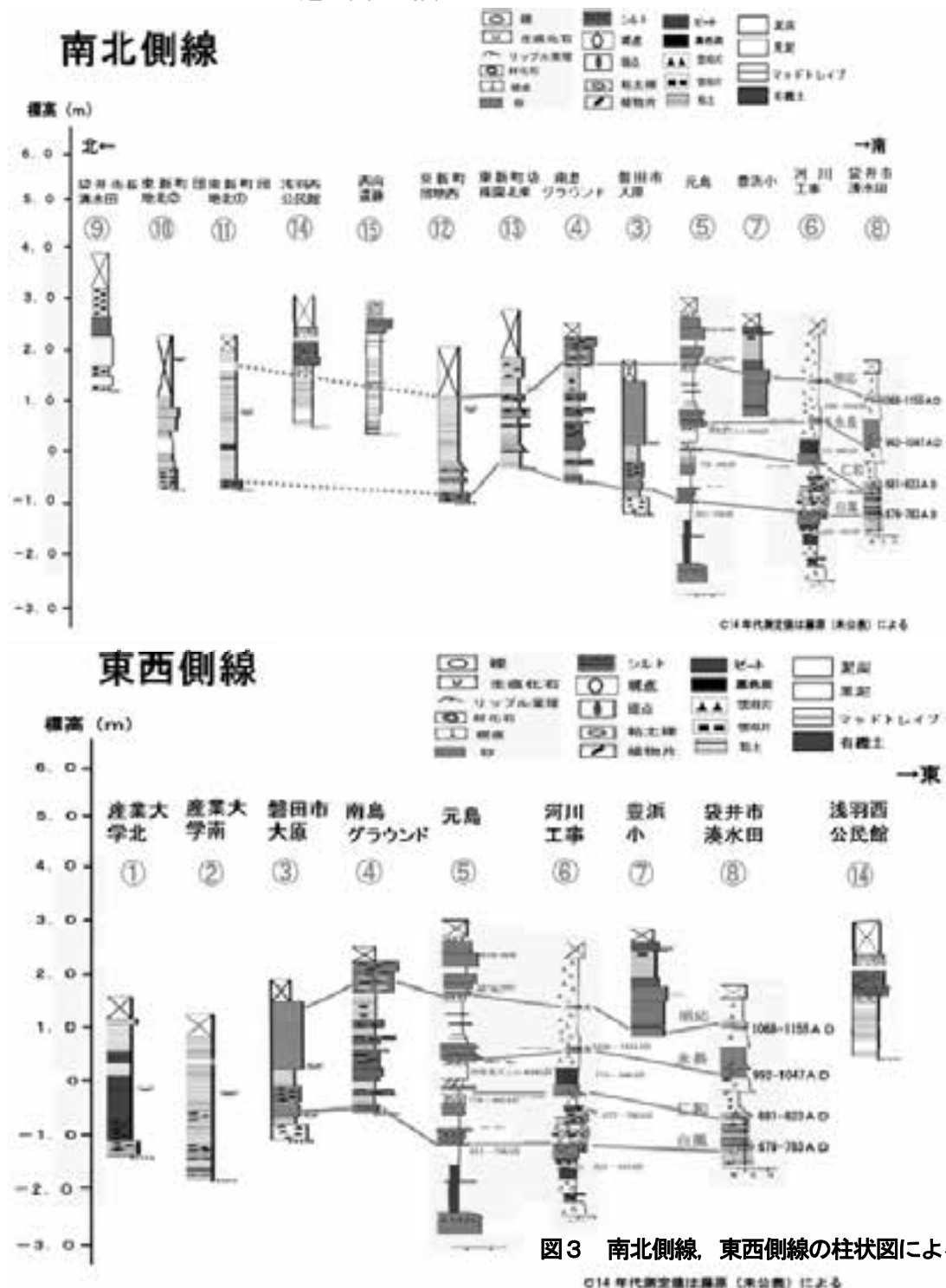
ここで、イベント堆積物は遠州灘から運ばれてきたことが分かっていたが、これが津波以外の高潮などのストーム堆積物による可能性もある。そこで、Marine Geology 204 (2004) 235-250 に掲載された J. Goff, B. G. McFadgen, C. Chague. (2004) の「Sedimentary differences between the 2002 Easter storm and the 15th-century Okoropunga tsunami, southeastern North Island, New Zealand,」をもとに検討した。この結果、イベント堆積物中にはリップアップクラストやマッドドレイブを含むこと、上方細粒化や上流細粒化が見られることから津波堆積物の特徴と一致するが、ストーム堆積物の特徴とは異なる。よってイベント堆積物は津波堆積物である。

7 津波堆積物の年代

イベント堆積物中に含まれる木片を採集し、産業技術総合研究所の藤原治先生を通して C14 法年代測定値を提供して頂いた結果、C14 法年代測定値は 778～895 年を示した。また、イベント堆積物は、再堆積した火山ガラスを含む有機土の直上にあり、この火山ガラスの分析を行った結果、838 年に噴火をした神津島天上山の広域テフラであることが分かった。これらを南海トラフに沿う歴史地震の時代表と照合させると、これに対応する地震は 887 年の仁和地震である。

なお、仁和地震の記録は、南海地域では古文書により知られていたが、東海地域では不明であった。しかし、この研究により、東海地域における仁和地震の津波を立証する初めての貴重な発見となる。さらにこの発見は仁和地震が東海地域と東南海、南海地域が連動して発生した「三連動型巨大地震」であることを示唆している。

8 ボーリングによる津波の遡上範囲の推定



津波の遡上範囲を推定するために、簡易ボーリング調査を行った。調査地点は15地点である。方法は、ハンドオーガーを用いて地下約2〜3mを掘削し、柱状図を作成した。これを南北側線、東西側線に沿って地層の対比を行い、津波堆積物を認定した。認定の基準は雲母片を多く含み、石英、長石からなることと津波堆積物の層相が酷似することである。この結果、標高1.46m付近の砂層が明応地震の堆積物、標高0.7m付近の砂層が永長地震、標高0〜0.5mの砂層が仁和地震、標高−0.7m付近の砂層が白鳳地震にそれぞれ対比される(図3)。

以上を総合して遡上範囲図を作成した(図4)。この図から、白鳳地震、明応地震では、津波は南北5km、東西8kmまで遡上し、仁和地震、永長地震では、津波は南北4km、東西6kmまで遡上したことが分かる。このことから白鳳地震、明応地震による津波は仁和地震、永長地震による津波より規模が大きいことが分かる。

9 古地理図の復元・津波遡上モデルの作成

地震の津波が発生した当時の古地理を復元し、津波の遡上経路を検討した。方法は、太田川低地の古墳時代以前の遺跡分布図と古文書による中世の復元図、地形分類図、をもとに白鳳地震(684年)・仁和地震(887年)発生当時の古地理図を作成した(図5)。これらより現在の太田川低地には東西に2つの潟湖が存在し、その潟湖は古浜堤列の北側の水路で連結されていたこと、遠州灘と通じる開口部は現在の太田川河口と弁財天川河口付近にあったことが分かる。同様に永長地震(1096年)、明応地震(1498年)当時の古地理図を作成した(図6, 7)。時代の進行と共に古浜堤列が1列から2列、3列へと増え、その位置も北側から南側の海側に前進している。

これらを総合して各歴史地震による津波遡上モデルを作成した(図8)。このモデルでは時代とともに浜堤の数が増えながら海から遠ざかるため、露頭では上位の地層ほど細粒になると考えた。これを検証するために津波堆積物の粒径の変化を調べてみると、予想どおり上方細粒化していることが確かめられた。よって、私たちの考えた津波遡上モデルが妥当であることが分かる。

10 古浜堤の南側と北側の砂の対比

白鳳、仁和地震当時の古地理図より、潟湖は古浜堤により遠州灘と隔てられている。そこで古浜堤を挟んだ堆積物の南北の違いを検討した(図9)。古浜堤を挟んだ南北の津波堆積物の違いは、古浜堤の南



図4 遡上範囲図



図5 白鳳、仁和地震発生当時の古地理図



図6 永長地震発生当時の古地理図

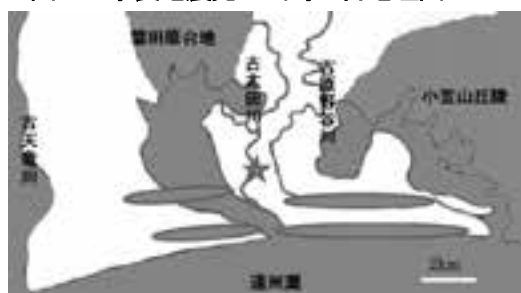


図7 明応地震発生当時の古地理図

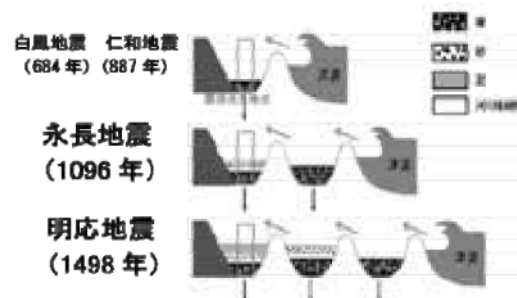
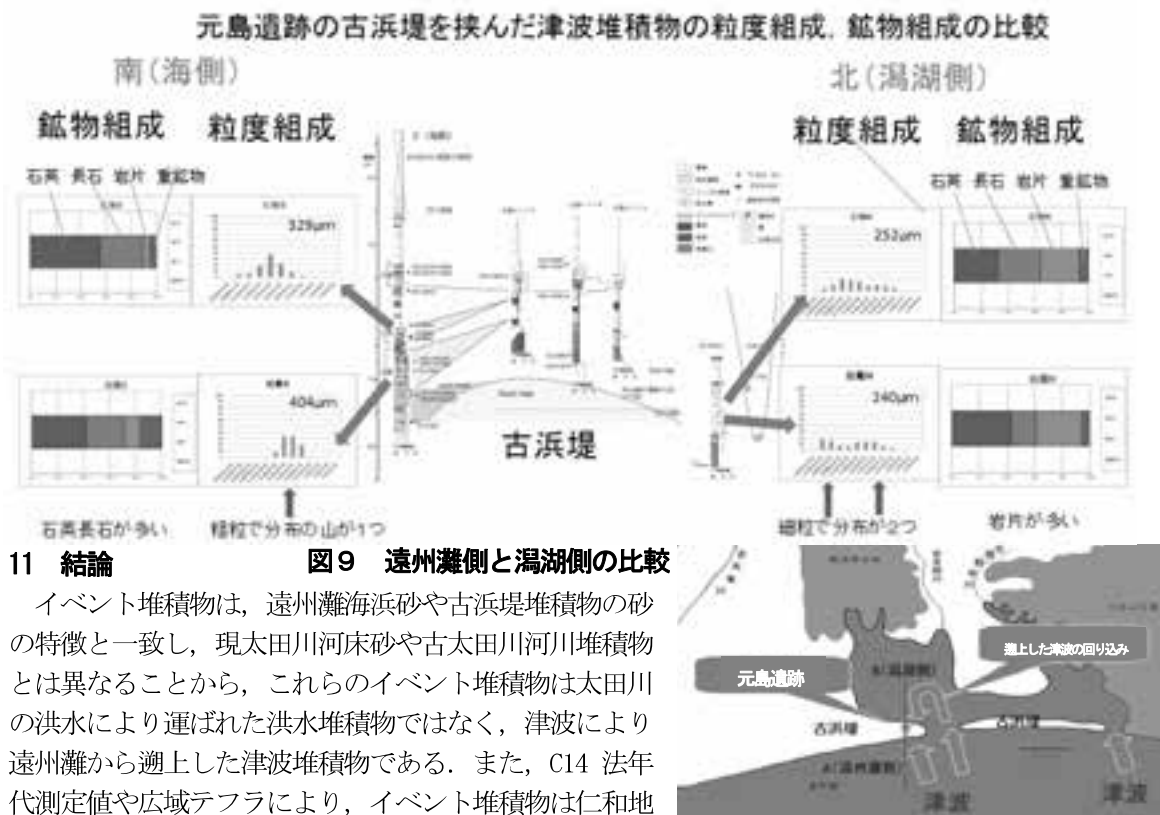


図8 作成した津波遡上モデル

の遠州灘側では石英と長石の割合が多く、平均粒径が粗く分布の山が1つである。一方、北の潟湖側では、岩片の割合が多く、平均粒径が細かく分布の山が2つである。この違いは、潟湖側では、古浜堤の間に遡上した津波が潟湖内の底質堆積物をまきこんだために、潟湖内の太田川起源の岩片に富む泥質堆積物と遠州灘起源の津波堆積物が混合して堆積したためである（図10）。



11 結論 図9 遠州灘側と潟湖側の比較

イベント堆積物は、遠州灘海浜砂や古浜堤堆積物の砂の特徴と一致し、現太田川河床砂や古太田川河川堆積物とは異なることから、これらのイベント堆積物は太田川の洪水により運ばれた洪水堆積物ではなく、津波により遠州灘から遡上した津波堆積物である。また、C14 法年代測定値や広域テフラにより、イベント堆積物は仁和地震（887 年）の津波堆積物である。

これにより、東海地域における歴史地震の繰り返しの地質学的に証明できた。さらに、簡易ボーリング調査より津波の伝搬経路や遡上範囲を推定できた。

12 今後の展望

南海トラフに沿う歴史地震の再来周期は100～150 年と言われている。しかし、永長地震と明応地震の間隔は、約402 年である。永長津波堆積物の上の層準にも、同様な特徴を示す砂層が存在し、これは、正平地震（1361 年）による津波堆積物の可能性が高い。今後はこの砂層についても同様の検討を行い、太田川低地における歴史地震の繰り返しの検証したい。さらに調査範囲を天竜川地域に拡大して、これらの研究で分かったことを今後の地域防災や学校防災教育に生かして貢献したい。

13 謝辞

この研究を行うにあたり、産業技術総合研究所上席主任研究員藤原治先生、静岡大学理学部教授北村晃寿先生、新潟大学教育学部准教授小野映介先生、静岡理工科大学理工学部教授吉田豊先生、田中清高博士にお世話になりました。以上の方々に感謝を申し上げます。

14 参考文献

青島晃・藤原治・北村晃寿・佐藤善輝・小野映介・谷川晃一郎・石上朗・下谷豪史・檜垣聡太・鈴木拓貴・檜垣北斗, 2012, 静岡県磐田市の太田川下流で見られる津波堆積物中の礫と砂の組成(演旨), 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 2012, MIS25-P20.ほか