

地形・地質記録から見た南海トラフの 巨大地震・津波（東海地域の例）

藤原 治¹⁾

1. はじめに

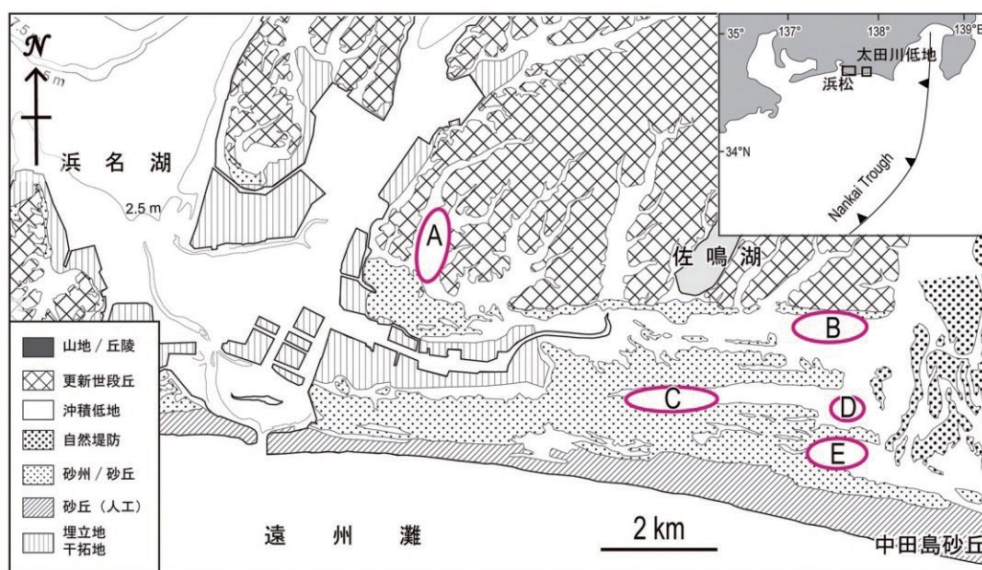
地層中から津波堆積物を認定する研究は 20 年あまりの歴史があり、海溝型地震や津波の履歴解明に貢献してきた。南海トラフ沿岸での津波堆積物の研究は、海岸の湖沼や砂丘の後背湿地を主対象に行われ（Komatsubara and Fujiwara, 2007 のレビューや岡村・松岡, 2012 参照）、過去数千年間の津波の発生時期に関する情報が蓄積されつつある。しかし、個々の地震や津波の規模、破壊域の広がり等の解明にはまだ情報が少ない。これには津波堆積物を他の堆積層とどう識別するかと言う問題に加え、堆積物から津波の規模（遡上距離など）を復元する方法の構築が課題となっている。

遡上距離の推定には、津波堆積物の内陸側への広がりを追跡する必要があるが、南海トラフ沿岸の低地は一般に規模が小さい上に農耕や市街地化などのため、調査の適地が少ない。古津波の遡上距離の推定を試みた例は、志摩半島

（藤野ほか, 2008; 藤野, 2013）や浜名湖東岸（藤原ほか, 2013）があるが、それらは小規模な谷地形に沿った調査である。静岡県浜松平野と太田川低地（第 1 図）は平野部での遡上距離の調査が可能な稀な例であり、現在重点的に調査を進めている。その現状と課題を紹介する。

2. 津波堆積物の識別

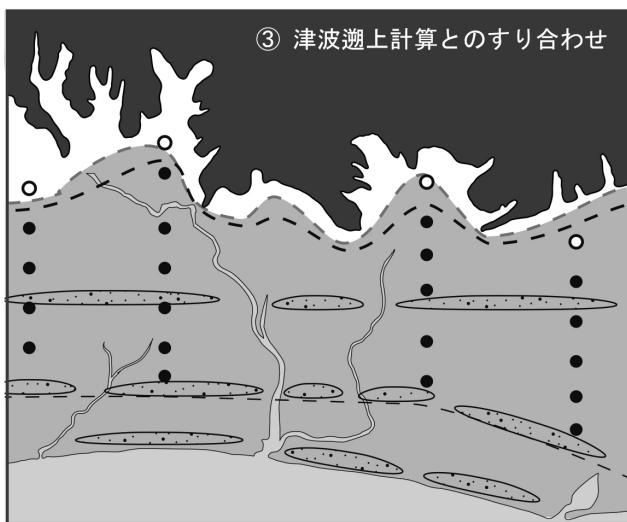
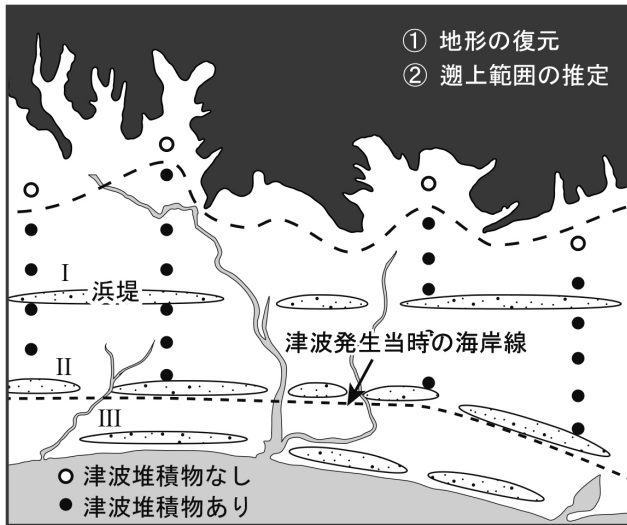
通常とは異なる突発的に発生した現象で堆積した地層を「イベント堆積物」と呼ぶ。イベント堆積物が津波堆積物かどうかを識別する決定的な方法はなく、その判断には地層の全体的な広がりや内部構造などの特徴を総合する必要がある。実際には、1) どのような場所で堆積したか、2) どこから流れ込んだか（海から遡上してきたか、川から溢れてきたか）、3) 高潮で説明できないほど内陸奥深くまで遡上しているか、などの情報を総合して判断している。4) 堆積構造などの特徴から、一過性の洪水イベントか、



第 1 図 調査位置図および浜松平野の地形分類図 地形分類は佐藤ほか (2011) を引用。
A ~ E は調査地点。

1) 産総研 活断層・地震研究センター

キーワード：古津波、津波堆積物、浸水域、南海トラフ、静岡



第2図 津波堆積物からの津波規模の推定.

何度も波が遡上と戻り流れを繰り返す津波か、を判別することもある。さらに、地震性地殻変動との同時性が示されれば、この識別はより確実になる。こうした課題に関しては、藤原ほか編 (2004)、藤原 (2007)、澤井 (2012) などのレビュー論文も参考にされたい。

3. 津波の規模の復元

津波の大きさの指標としては、津波が打ち上がった高さ(遡上高)と、津波が内陸奥深くへ浸入した距離(遡上距離)とがある。ここでは東海地域で主に行っている遡上距離の調査を取りあげる。第2図に津波堆積物を使って津波の規模を推定し、その津波を起こした地震の断層モデルを構築するまでの作業の流れを模式的に示した。北海道にお

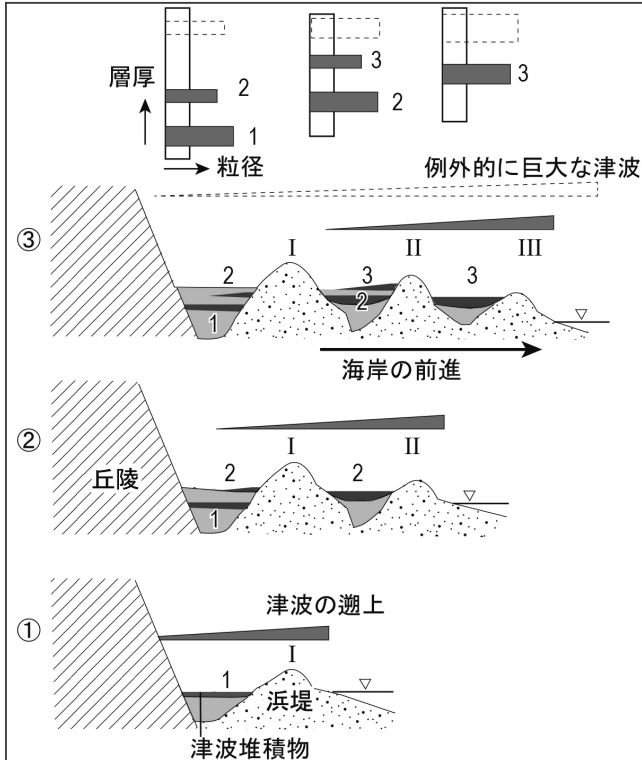
ける連動型地震の解明 (Nanayama *et al.*, 2003) や、仙台平野における869年貞観津波の浸水域や断層モデルの研究 (Sawai *et al.*, 2012) も、同様の方法で行われた。まず、地形は時代によって異なるので、遡上距離の推定は①のように津波が起きた当時の地形を基準に行う必要がある。次に、②のように海岸から内陸へ測線を設け、掘削調査などによって津波堆積物を追跡し、遡上の先端を探索していく。幾つもの測線で調査を行うことで、平野内での浸水範囲が復元される。最後に、津波遡上計算を行って、浸水範囲を説明できる断層モデルを探索する (③)。①と②は地形学や地質学を主とする部分、③は地球物理学などと連携する部分である。このような調査地を増やしていくことで、より正確な津波の規模や断層モデルの復元につながる。

4. 地形の復元がなぜ重要か

第3図は、第2図に示した低地を海-陸方向で横切る断面である。海岸低地には^{ひんてい}浜堤や砂丘が作る高まりと、その間の低湿地(堤間湿地)が繰り返し分布することが多い。浜堤や砂丘から、かつての海岸線の位置をおおよそ推定できる。浜堤列は堆積物で海が埋め立てられて平野が広がる過程でできたもので、内陸側のものほど古く、海側へ順次新しくなる。浜松平野や太田川低地も、過去7千年程度の間形成された浜堤列が良く発達する。各砂丘や浜堤が示す海岸線の年代推定は、地層の年代測定結果、遺跡の時代と分布、あるいは古絵図などを手掛かりにしている。

第3図には地形の発達と関連して、津波堆積物が保存される様子を示した。①は平野が広がる前で、浜堤が一列しかなかった時代である。右から左へ薄くなる^{くまび}楔は、津波の浸水深やエネルギーの変化を示している。津波は狭い平野を満たして丘陵の麓まで浸水し、津波堆積物1を形成した。海底にも津波堆積物は形成されるが、波浪などの作用で崩され地層には残りにくい。②は時間が経って浜堤列が2列になった時代である。前回と同じ規模の津波が起こった(楔の幅は①と同じ)とすると、浜堤IとIIは冠水するが丘陵までは届かない。津波堆積物は内陸へ薄くなりつつ浜堤Iの直ぐ陸側まで形成された。③は浜堤が3列に増えた時代である。津波の規模が同程度であれば、浜堤Iの麓までしか浸水せず、津波堆積物は浜堤IとIIの間の低地までしか残らない。

第3図の最上部には、3つの堤間湿地で得られる柱状図を描いた。一番内陸側の堤間湿地では、古い2つの津波堆積物だけが見られ、一番新しい津波堆積物は認められな



第3図 浜堤列平野の地形発達と津波堆積物の保存。

い。中央の堤間湿地では新しい方の2つだけが認められる。一番海側の堤間湿地では最新の津波堆積物だけが認められる。もう一つ重要なことは、複数の津波堆積物が認められる堤間湿地では、新しい（上位の）津波堆積物の方が薄く細粒になることである。これらの現象は、時代とともに低地（つまり自然の防波堤）が広がり、調査地点がより内陸に位置するようになった結果である。津波の規模が時代によって顕著には変わらないならば、新しい時代ほど津波堆積物の分布は海側に寄り、同じ地点で見ると新しい津波堆積物ほど薄く細粒になるはずである。

5. 東海地域の事例

5.1 浜松平野

浜松平野では第1図に示す堤間湿地などA～E地点で掘削調査を行った。その結果、過去約4000年間に關しては、第3図の仮定を満たす結果が得られている。平野の内陸縁にある開析谷（A地点）や堤間湿地（B地点）では、津波堆積物と考えられる砂層はカワゴ平火山灰（約3200年前）より古い地層にのみ認められる。海側のC地点では津波堆積物と考えられる砂層は9世紀ころまで認められるが、上位のものほど薄く細粒になる（藤原・佐藤，2012）。もし、他の津波より極端に大きな津波が起きていたならば、第3

図の上図に点線で書いたような広い分布を持つ津波堆積物が形成されたはずだが、そのような痕跡は今のところ未確認である。

一つの例外はE地点（17世紀の絵図に描かれた池の跡）である。ここでは粘土層中に津波堆積物と考えられる砂層が複数枚挟まるが、一番上位の砂層が例外的に厚い（年代は測定中）。この堤間湿地は中田島砂丘の背後を流れる河川に近い位置にある。砂丘の広がり時代によって大きく変化する。川岸にまで砂丘が広がっていれば、津波で砂が流され、厚い津波堆積物ができやすくなる。津波堆積物の供給源の変化も考慮しないと津波の規模を正しく推定できない。そのための調査を進める予定である。

5.2 太田川低地

太田川河畔の工事現場や遺跡発掘現場からは、684年白鳳地震、887年仁和地震、1096年永長地震、1498年明応地震に対応すると考えられる津波堆積物が報告されている（藤原ほか，2012a, b）。この露頭を起点に、各津波堆積物が平野の何処まで奥深く分布するかを掘削調査により追跡している。

これまでに60地点でコア試料を採取し、一部について分析を行った。その結果によれば、各津波堆積物は海から陸側へと細粒化・薄層化するだけでなく、堤間湿地内では地形的低まりである河川の主流路に近いところで厚く粗粒で、そこから離れるにつれて薄く細粒になる。このことから、津波は浜堤を越流したのではなく、川沿いを遡上して自然の堤防などが低いところや破堤したところから堤間湿地に溢れ、そこから低地内へ浸水したと考えられる。また、地形を考慮した津波堆積物の分布からは、4つの歴史津波のうちでは明応津波が最も遡上範囲が広がったようである。

一方で、1707年宝永地震と1854年安政東海地震による津波堆積物は確認できていない。古文書の記録によれば、この地域では宝永地震の揺れに關しては詳しい記述があるが、津波が平野に浸水したことを示す記述は無い。また、安政津波は太田川を遡り海岸部では低地に浸水したとされる。現在の太田川は、小規模な河川を17世紀初頭に人工的に合流させ河道を固定したものである。また、17世紀後半には大洪水の被害を受けて集落を守る堤防が築かれた。近世の津波堆積物は耕作などで失われた可能性もあるが、むしろ治水工事の効果により、津波は低地への浸水が限られ、明瞭な津波堆積物は残らなかったのかもしれない。

6. より正確な津波規模の復元に向けて

津波堆積物は陸側へ細粒かつ薄層になるが、砂などの粗粒物が運ばれなくなってもシルトや粘土粒子はさらに内陸へ流されて泥質の津波堆積物を残す。津波の遡上限界付近には浮遊してきた植物片などが集積して「デブリ層」を形成する。このように、実際の津波の遡上限界は目視で分かる砂質津波堆積物の分布限界よりも内陸まで広がっている。2011年東北沖地震の後に仙台平野で行われた調査の例では、目視で認識できる津波堆積物が形成される内陸側の限界は、実際の津波遡上距離の6割から7割程度というデータもある (Goto *et al.*, 2011; 穴倉ほか, 2012など)。

これまで津波堆積物として認定されたものは、沿岸低地の粘土層や泥炭層中に挟まる砂や礫などの粗粒堆積層が主である。しかし、津波規模の推定と言う観点からは、泥質の津波堆積物も注視していく必要がある。例えば、沿岸低地の粘土層やシルト層を主体とする地層には、色などの異なる粘土層や植物片が集積した層が稀に認められる。こうした堆積層に対して従来は“洪水粘土”などと漠然とした解釈を下してきた。しかし、仙台平野の例を見れば、これらの一部は津波起源かもしれない。

津波の遡上範囲をより正確に把握するには、砂質堆積物の陸側に続く泥質の津波堆積物やデブリ層を地層から認定する技術の構築が必要である。例えば、2011年東北沖地震の例では、津波堆積物に海水成分が集積していることが示された (Chagué-Goff *et al.*, 2012)。こうした成分が津波後どれ程の期間保持されるかは未確認であるが、化学成分の分析を泥質津波堆積物の識別に取り入れることは有効であろう。微化石など他の指標も組み合わせることで、識別の信頼性が上がると期待される。

太田川低地の例では、津波が浜堤列を乗り越えずに浜堤列に沿って堤間湿地を流れたことが示唆される。浜堤列とその周辺で掘削地点の密度を高め、どの程度の高さの浜堤であれば津波が乗り越えたか、あるいは乗り越えられなかったかを復元できれば、遡上高を推定する手がかりになるだろう。さらに地殻変動などの補正を加え、津波発生当時の浜堤列の高さを復元することで、津波の高さの復元がより正確なものになると考えられる。

7. まとめ

浜松平野と太田川低地での調査では、浜堤列平野の地形を利用して、津波の遡上距離、侵入ルート、遡上高の推定を試みている。その結果、南海トラフ沿岸では初めて堆積物から津波の規模が復元されつつある。東海地域では過去4000年程度について見ると、他の津波より極端に規模が大きな津波の痕跡は見つかっていない。また、歴史津波に関しては、1498年明応津波が相対的に規模が大きかったと考えられる。

文 献

- Chagué-Goff, C. *et al.* (2012) *Sediment. Geol.*, **282**, 175–187.
- 藤野滋弘 (2013) 日本地球惑星科学連合2013年大会講演要旨, MIS25-08.
- 藤野滋弘ほか (2008) 活断層・古地震研究報告, no.8, 255–265.
- 藤原 治 (2007) 第四紀研究, **46**, 451–462.
- 藤原 治ほか編 (2004) 地質学論集, no. **58**, 169p.
- 藤原 治・佐藤善輝 (2012) 日本地震学会講演予稿集 2012年度秋季大会, 206.
- 藤原 治ほか (2012a) 日本第四紀学会講演要旨集, **42**, 46–77.
- 藤原 治ほか (2012b) 第29回歴史地震研究会講演要旨集, 3.
- 藤原 治ほか (2013) 地学雑誌, **122**, 308–322.
- Goto, K. *et al.* (2011) *Mar. Geol.*, **290**, 46–50.
- Komatsubara, J. and Fujiwara, O. (2007) *Pure Appl. Geophys.*, **164**, 493–507.
- Nanayama, F. *et al.* (2003) *Nature*, **424**, 660–663.
- 岡村 眞・松岡裕美 (2012) 科学, **82**, 182–191.
- 佐藤善輝ほか (2011) 地理学評論, **84**, 258–273.
- 澤井祐紀 (2012) 地質学雑誌, **118**, 535–558.
- Sawai, Y. *et al.* (2012) *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.
- 穴倉正展ほか (2012) 活断層・古地震研究, no.12, 45–61.

FUJIWARA Osamu (2013) Earthquake and tsunamis along the Nankai Trough, inferred from geology and geomorphology —examples in Tokai region—.

(受付:2013年5月24日)