

過去5000年間の南海・駿河 トラフ巨大地震による駿河 湾の津波と海底地すべり

静岡大学理学部地球科学教室
防災総合センター

北村晃寿

この本論は、2020年9月3日に国際誌Quaternary Science Reviewsのオンラインに掲載された「Kitamura A., Yamada K., Sugawara D., Yokoyama Y., Miyairi Y. and Hamatome team, 2020. Tsunamis and submarine landslides in Suruga Bay, Central Japan, caused by Nankai–Suruga trough megathrust earthquakes during the last 5000 years」の概説である。

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379120304893>

この論文の著者は、私、ふじのくに地球環境史ミュージアムの山田和芳教授（現早稲田大学）、同ミュージアムの菅原大助教授（現東北大学）、東京大学の横山祐典教授、宮入陽介特任研究員、そして私の指導学生たちである。静岡県焼津平野・浜当日低地で採取した12本の堆積物コアについて津波堆積物を調べ、以下の結果を得た。

- 1) 5000年間の堆積物から4つの津波堆積物(砂層1～4)を識別した。
- 2) 砂層1は紀元前805～405年の間に堆積し、紀元前3090年～西暦1096年永長東海地震までの4000年間で、同低地にあった潟湖（ラグーン）に堆積した唯一の津波堆積物である。南海・駿河トラフの巨大地震の発生間隔が90～270年であるにも関わらず、4000年間に1回の津波浸水という発生頻度の低さは、この津波がレベル1地震の津波よりも大きかった可能性を示す。
- 3) 砂層2-4はそれぞれ1096年永長東海地震、1361年正平康安地震、1498年明応東海地震に伴う津波に対応する。
- 4) 潟湖を波浪から守っていた砂嘴/砂洲は1096年永長東海地震で破壊され、その原因は地震による海底地すべりによると推察される。
- 5) 本論のデータと歴史資料から、1096年と1498年のレベル1地震は調査地域で海底地すべりを引き起こし、それに伴う海岸沈下で津波の被害が増大したと考えられる。

Outline

Highlights

Abstract

Keywords

1. Introduction

2. Study area

3. Methods

4. Results

5. Discussion

Conclusions

Author statement

Funding

Declaration of competing interest

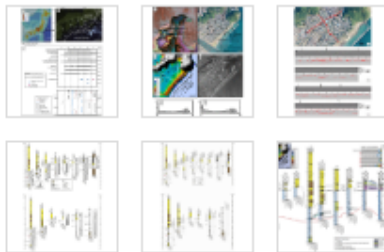
Acknowledgments

Appendix A. Supplementary data

References

Show full outline 

Figures (10)



Show all figures 



Quaternary Science Reviews

Available online 3 September 2020, 106527

In Press, Corrected Proof 



Tsunamis and submarine landslides in Suruga Bay, central Japan, caused by Nankai–Suruga Trough megathrust earthquakes during the last 5000 years

Akihisa Kitamura ^{a, b, *}, Kazuyoshi Yamada ^c, Daisuke Sugawara ^d, Yusuke Yokoyama ^e, Yosuke Miyairi ^e
Hamatome team

Show more 

<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106527>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

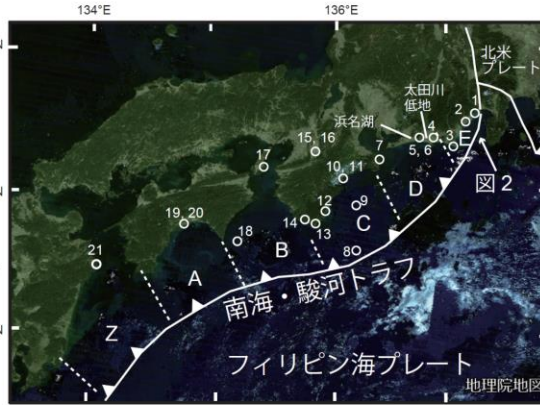
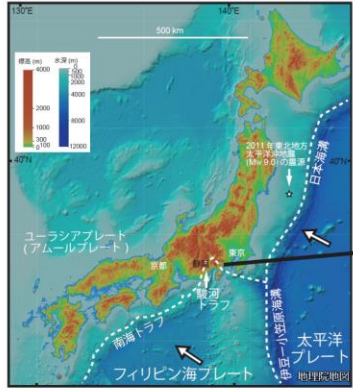
[open access](#)

Highlights

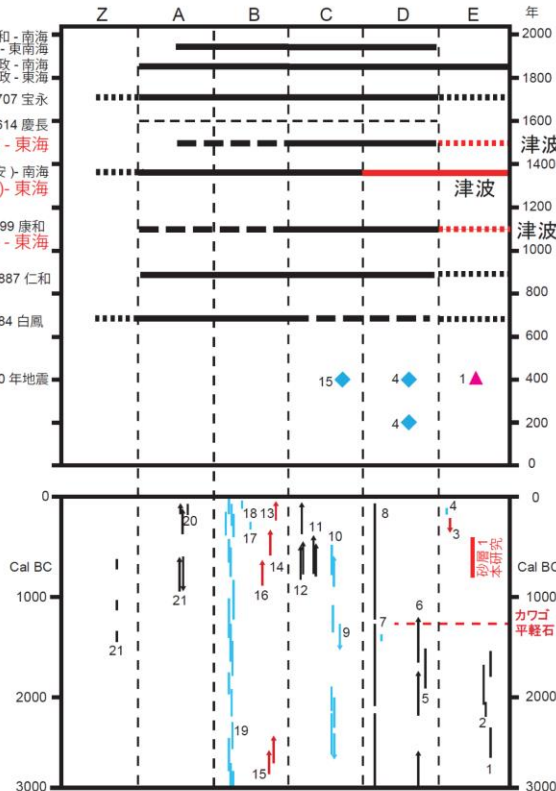
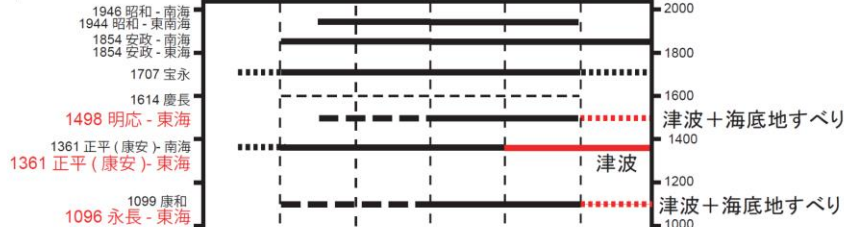
- Four sandy tsunami deposits were identified at Suruga Bay at eastern Nankai–Suruga Trough during the last 5000 years.
- Oldest tsunami deposited between 805 and 405 BC.
- Three tsunami deposits were correlated with the AD 1096, AD 1361, and AD 1498 tsunamis, respectively.
- Earthquakes in AD 1096 and AD 1498 caused submarine landslides, resulting in coastal deformation.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379120304893>

5000年間の南海・駿河トラフで発生した巨大地震



大陸プレートに対する太平洋プレートとフィリピン海プレートの移動方向 (Hirose and Maeda, 2013).



歴史記録により、南海・駿河トラフでは、西暦684年の白鳳地震以降、90~270年間隔で、マグニチュード8クラスの大地震と津波(レベル1地震・津波)が発生した(左図)。これらのうち、1498年の明応地震では、焼津市の小川(こがわ)にあった林叟院(りんそういん)の跡地が地震・津波後に海没したことが古文書に記されている。さらに、2009年8月11日に発生した駿河湾の地震(Mj6.4)で、焼津市沖約5kmで幅450m、深さ10-15mの海底地すべりが起き、津波高を増大させるとともに、駿河湾深層水取水施設の687m深層水取水管を切断し、2km流したことが判明している。よって、焼津市沿岸では、過去500年間に2回の海底地すべりが起きている。

2. 海溝型地震の長期評価の概要

(算定基準日 令和2年(2020年)1月1日)

(海溝型地震の10, 30, 50年以内の地震発生確率)

領域または地震名		長期評価で予想した地震規模(マグニチュード)	地震発生確率 ^(注1)			地震後経過率 ^(注2)	平均発生間隔 ^(注1)
			10年以内	30年以内	50年以内		最新発生時期 (ポアソン過程を適用したもの を除く)
相模トラフ沿い地震	次の相模トラフ沿いのM8クラスの地震 ^(注6)	8クラス (7.9~8.6)	ほぼ0%~2%	ほぼ0%~6%	ほぼ0%~10%	0.16-0.54	180~590年 ^(注7)
	プレートの沈み込みに伴うM7程度の地震	7程度 (6.7~7.3)	30%程度	70%程度	80%程度		—
南海トラフ(第二版)の地震	南海トラフ	8~9クラス	30%程度	70%~80%	90%程度 もしくは それ以上	0.84	次回までの標準的な値 ^(注8) 88.2年
							74.0年前

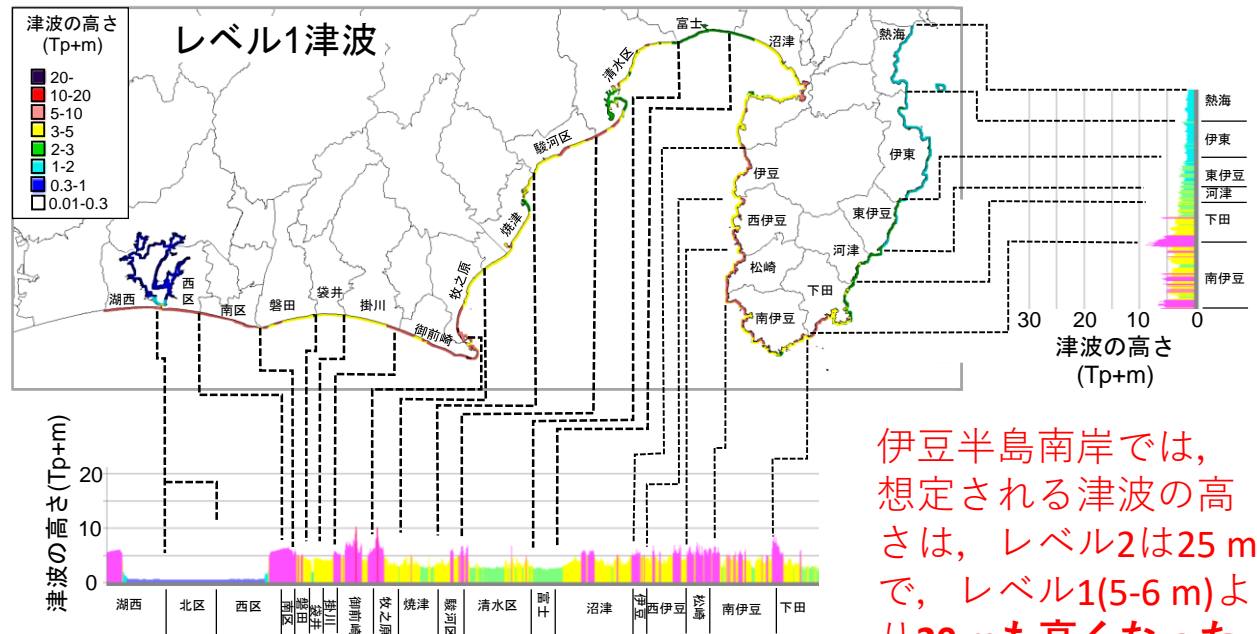
東北地方太平洋沖地震とそれに伴う巨大津波による激甚災害を教訓に、国は南海・駿河トラフの海溝型地震の被害想定を、「想定外の無い想定」へ方針転換した。そして、従来の防災対策の対象としてきた「東海地震，東南海地震，南海地震とそれらが連動するマグニチュード8程度のクラスの地震・津波」を「レベル1の地震・津波」とし、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波」を「レベル2の地震・津波」とした。

レベル1地震・津波の発生間隔は約100～150年で、レベル2地震・津波は1000年あるいはそれよりも発生頻度は低いが、発生すれば津波高10 m以上の巨大な津波が13都県に襲来し、国難とも言える巨大災害になるとした。そして、国は、想定は限られた科学的知見によるので、津波堆積物調査などの促進を図り、巨大地震の全容を解明するための努力が必要と述べた。

巨大地震への対策

レベル1地震・津波

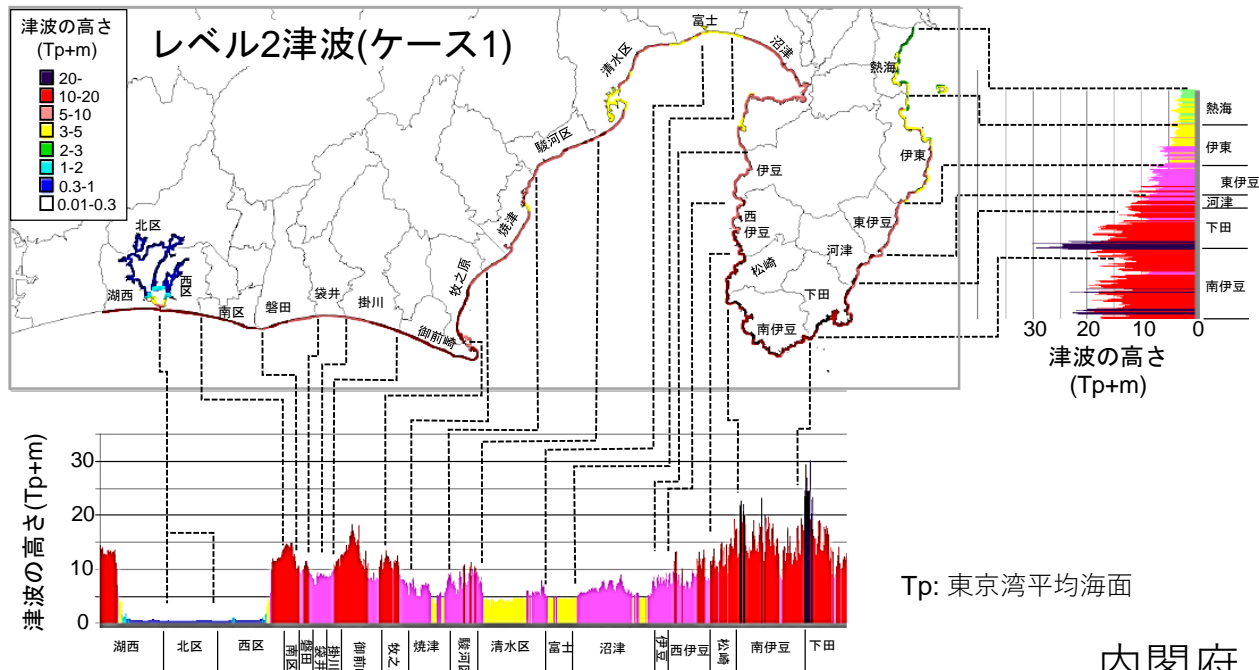
これまで防災対策の対象としてきた「東海地震, 東南海地震, 南海地震とそれらが連動するマグニチュード8程度のクラス地震」と津波



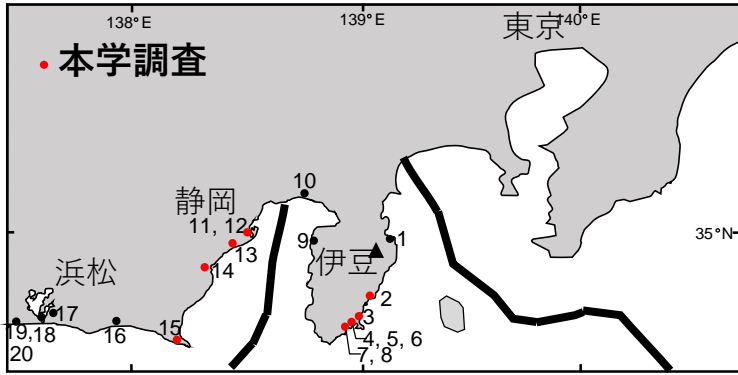
伊豆半島南岸では、想定される津波の高さは、レベル2は25 mで、レベル1(5-6 m)より20 mも高くなった。

レベル2地震・津波

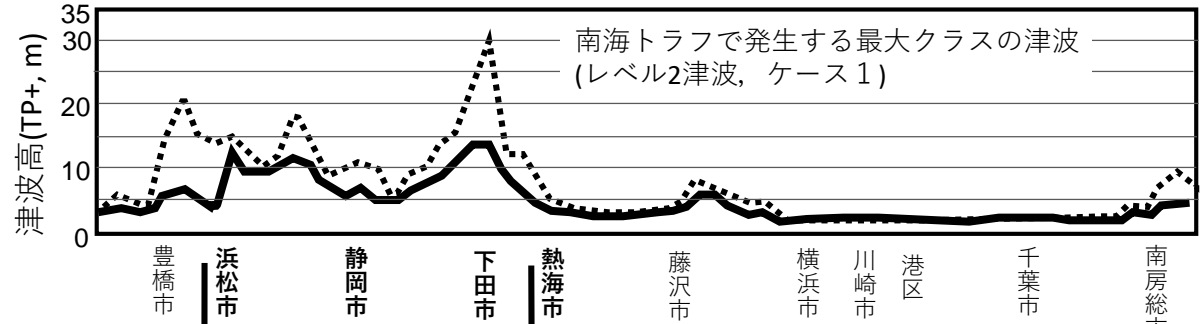
南海トラフで起こる巨大地震に伴う「あらゆる可能性を考慮した最大クラス地震・津波」
津波に関しては11のケースを想定。



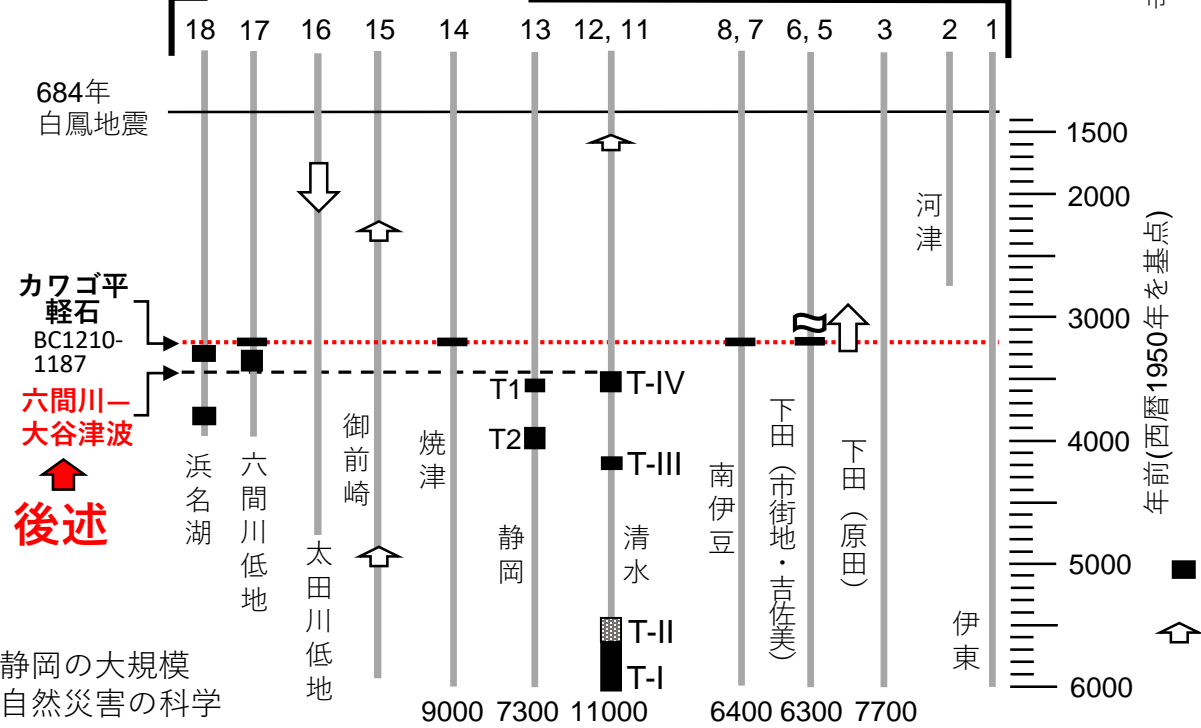
Tp: 東京湾平均海面



北村は共同研究者や静岡県・焼津市とともに、津波堆積物調査がほとんど行われていなかった静岡県中・東部の海岸低地を調査し、本県中西部



における藤原 治研究員(産業技術総合研究所)の調査結果と合わせて、**本県の過去4000年間の地層・地質記録にはレベル2津波の痕跡は見つからなかったこと**を明らかにした
(Kitamura, 2016, Prog. Earth Planet Sci., 3, p. 12, 10.1186/s40645-016-0092-7).



- 津波堆積物
- ◡ 白色軽石の大量流入
- ⤴ 地震性隆起
- ⤵ 地震性沈降

後述

静岡県内では、レベル2津波の痕跡は見つかっていないが、レベル1.5地震・津波の痕跡は複数検出された。これは、次の南海トラフの地震・津波（30年以内の発生確率60～70%）がレベル2となる可能性はほぼないが、レベル1.5地震・津波の発生は十分あることを意味する。ただし、「レベル1地震」と「分岐断層の活動」の連動は、再発間隔が1700～2500年間²⁷⁾であり、かつ最新の発生が1361年正平（康安）東海地震なので²⁶⁾、次の南海トラフ大地震で起きる可能性は極めて低い。一方、地震による海底地すべりの発生の可能性は十分ある。したがって、過去の「レベル1地震」と「海底地すべり」の連動の実態解明は、本県の防災・減災のために喫緊の課題である。静岡の大規模自然災害の科学

本論の主目的は、明応地震以前の津波の発生履歴の解明とともに、明応地震の海没の範囲を検討するために、焼津市の小川の北に位置する浜当目低地で津波堆積物の調査を行った。

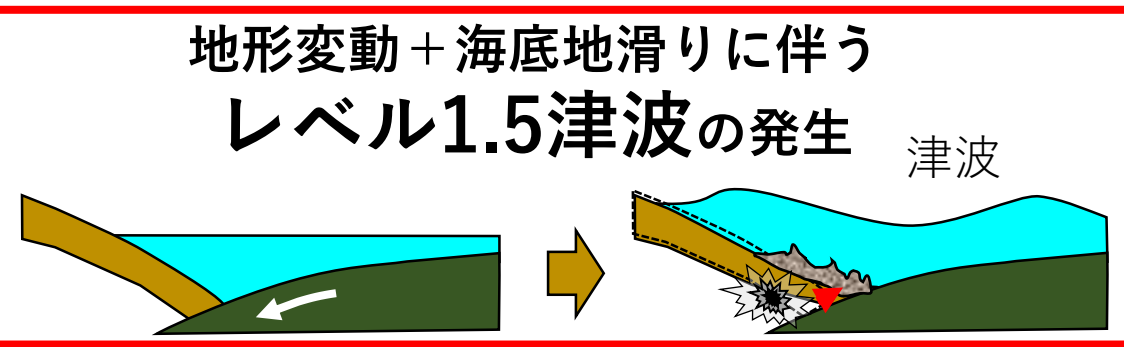
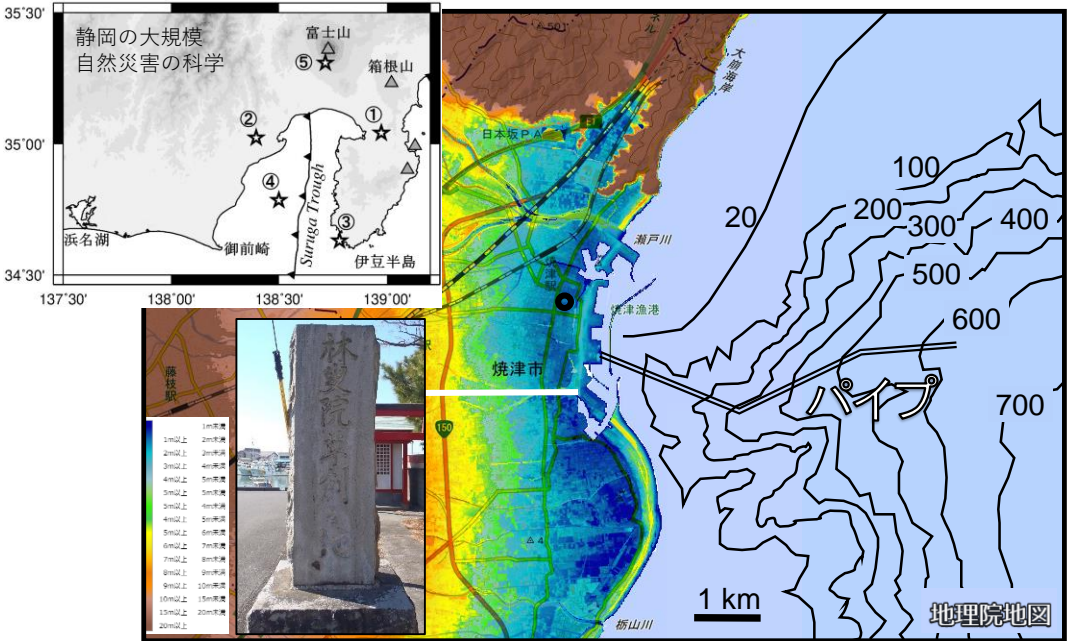
明応地震の海没

林叟院(りんそういん)の古文書

翌明応7年8月には大雨があり、25日は大地震、津波が起き、2万6千人の溺死者が出た。寺が元あった場所は大海に成ってしまった。

北村撮影

峯而溪回復而流合為一水峻岩山水闌寂靈區恍乎非人世也
 實為梵宮佛宇之所宜也師欣然回首欲晤語相失具蹤
 跡於瞬目之間也只草遺遺片石耳存而今曰山神石靈護嚴
 告怪也師自知是護神而仰頭合掌歸院也師愈異此事告
 長谷川不幾許而移寺於而今地改林叟為林叟者示叟人
 之護也請師而為開祖自居二位殿堂僅構營禪誦也翌年
 秋八月八日果而天大雨也同廿五日大地震動海水大涌而溺死者凡
 二萬六十餘人也林叟之舊地忽變而為巨海也同九年辰二月二
 日檀越法永居士擇命匠氏諸堂如指呼幻出信勝小川之舊



海底地すべりによる津波の発生

海底地すべりによる津波が襲来し、その後、海洋プレートの変形に伴う津波が襲来する。

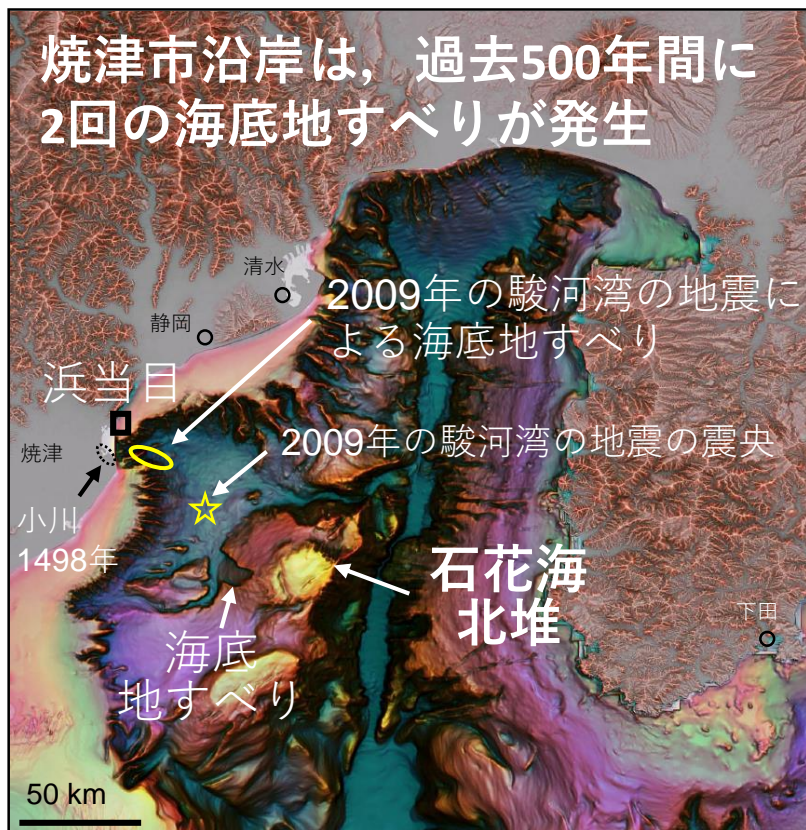
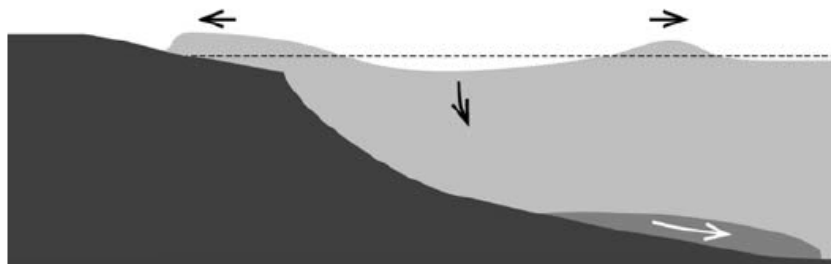
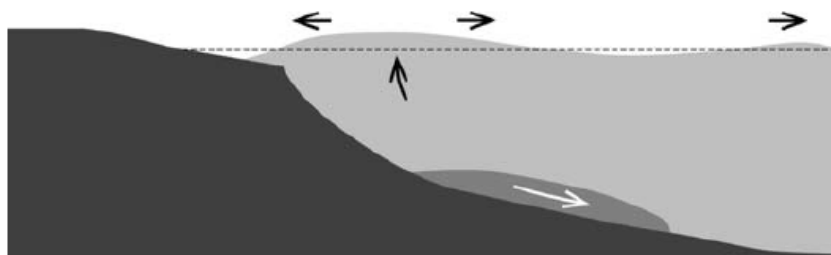
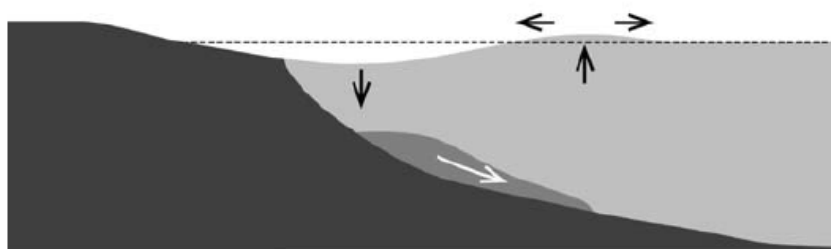
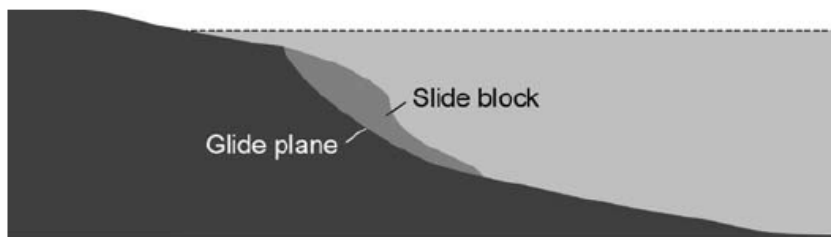


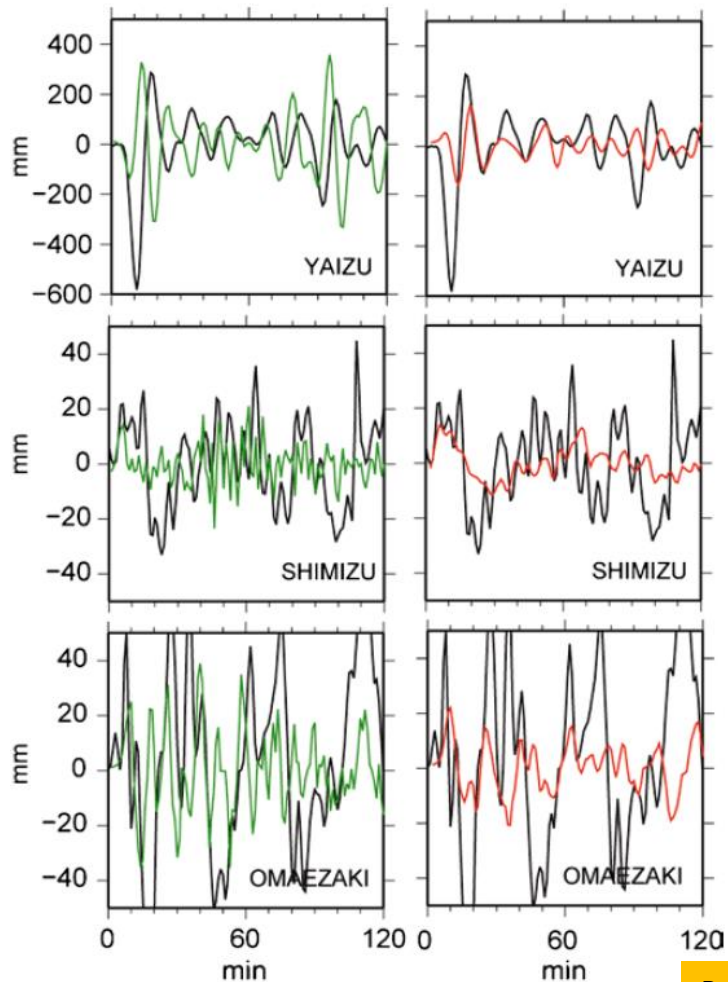
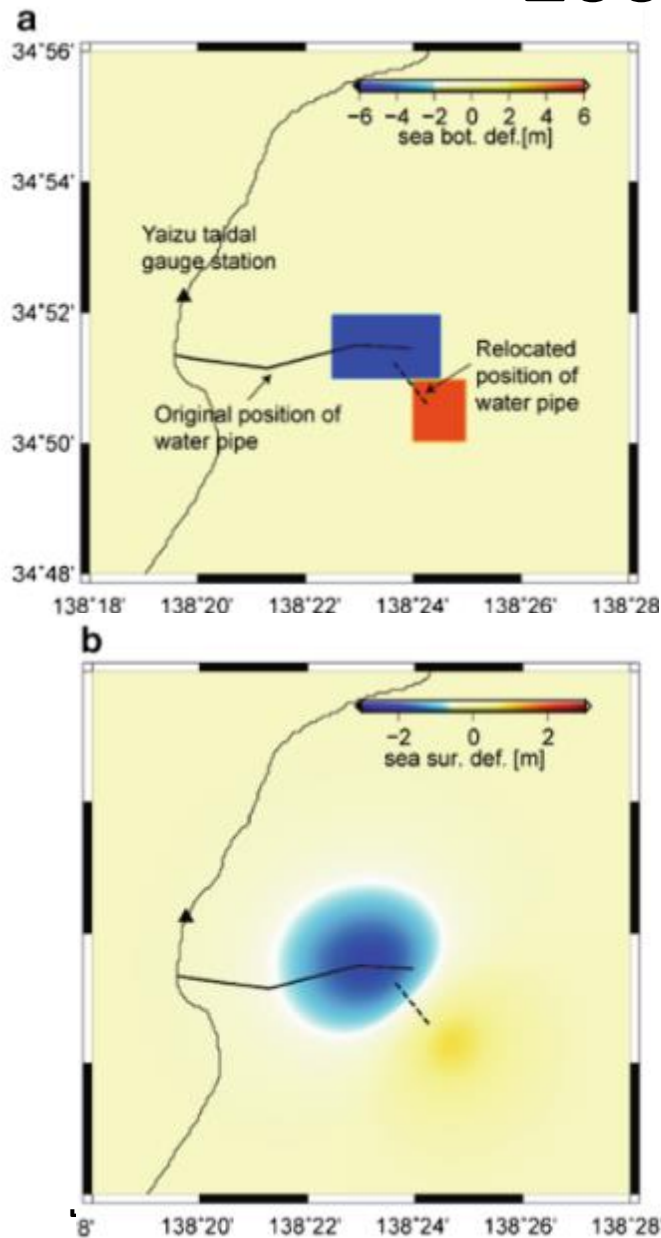
FIGURE 4.4

Schematic diagram of tsunami generation by submarine landslides.

This diagram was drawn based on the original artwork by Gerard Fryer in HIGP/SOEST, Hawaii University (http://www.soest.hawaii.edu/SOEST_News/Images/News-Coastal/jpg).

駿河湾は海底地すべりの多発地帯

2009年駿河湾の地震



— observed tsunami waveforms
 — synthetic tsunami waveforms derived from the compound model
 — synthetic tsunami waveforms derived from the fault-only model

2009年8月11日5時7分頃に駿河湾の深さ23kmでマグニチュード6.5の地震が発生。
 焼津市では津波の第一波が5時13分に引き波0.6m, 最大波が5時26分に0.3mを観測。

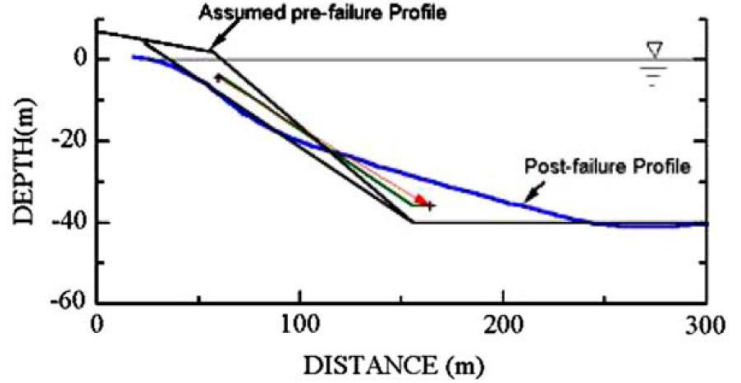
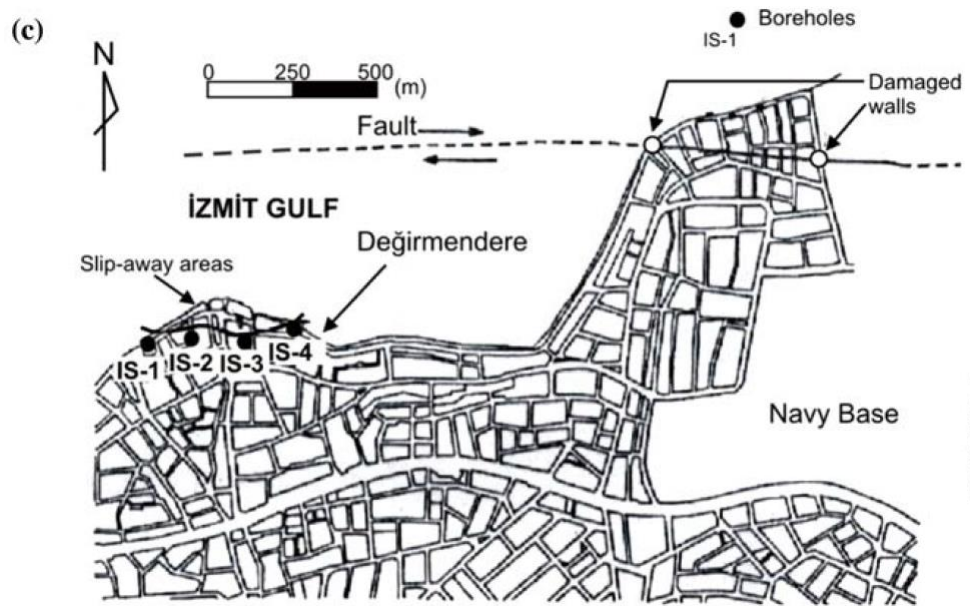
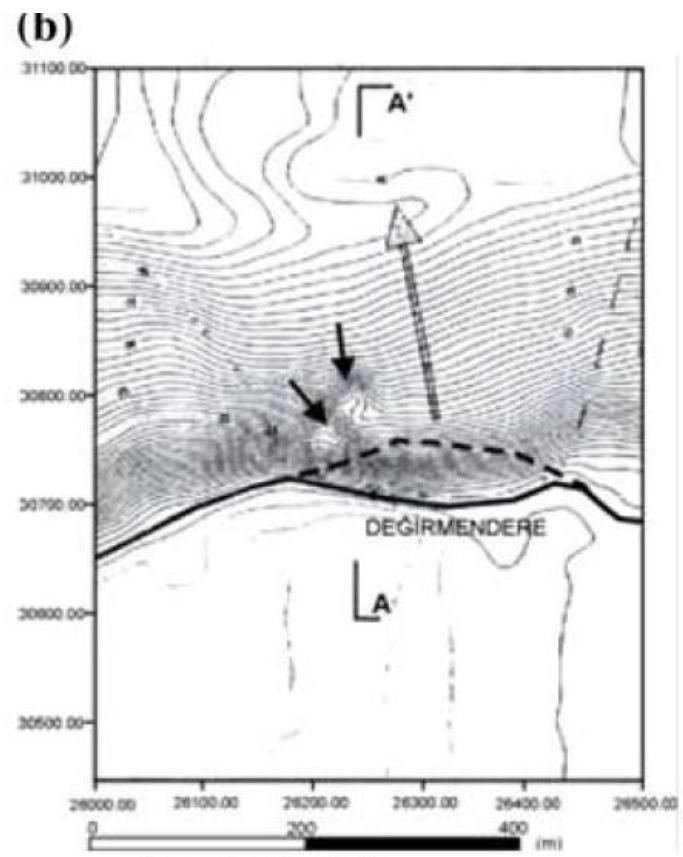
震央は焼津沖16km。
津波の平均伝播速度は毎分約2.7km

Baba et al., 2012. Submarine mass movements and their consequences. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 31. Springer: New York, 485-494.

Fig. 43.3 (a) Modeled vertical deformation at the seafloor due to the submarine mass movement (b) The initial sea-surface deformation obtained by applying Kajiura's (1963) method to the modeled vertical deformation

Fig. 43.5 Comparison of observed and synthetic tsunami waveforms at Yaizu tidal gauge station, and Shimizu and Omaezaki wave-meter stations. See Fig. 43.4a for the station locations. The synthetic waveforms in the left-hand panels were generated assuming simultaneous fault motion and submarine mass movement; those in the right-hand panels were generated assuming fault motion only

トルコの イズミット 湾沿岸 の地滑り



マグニチュード7.8のコジャエリ地震が起き、震源から約10 kmにあるイズミット湾の扇状地三角州の海岸で、奥行き100m、間口数100mの土地が海中に流失した。平均勾配10~10数%の急勾配の砂礫層の斜面が液状化で不安定になり、沖に向かって地滑りを起こした可能性が高い(Aydan et al., 2008, Environ Geol., 54:165-182).



那閉神社

虚空蔵山



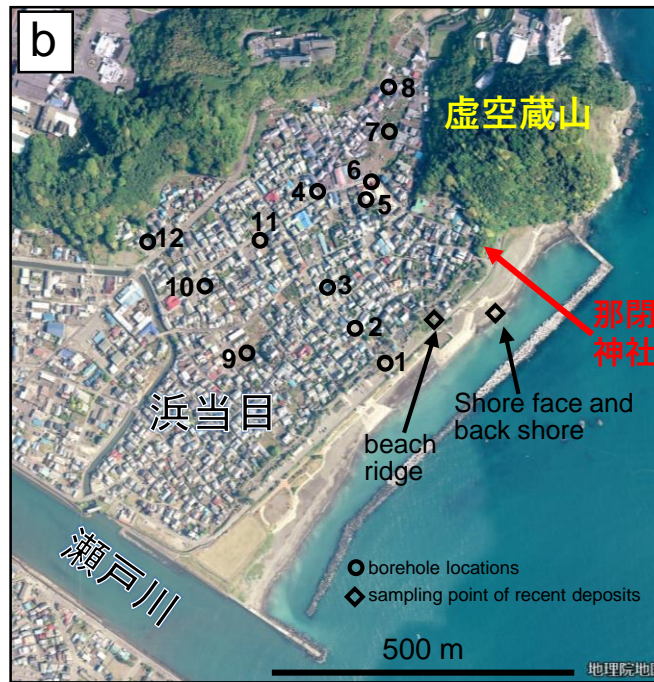
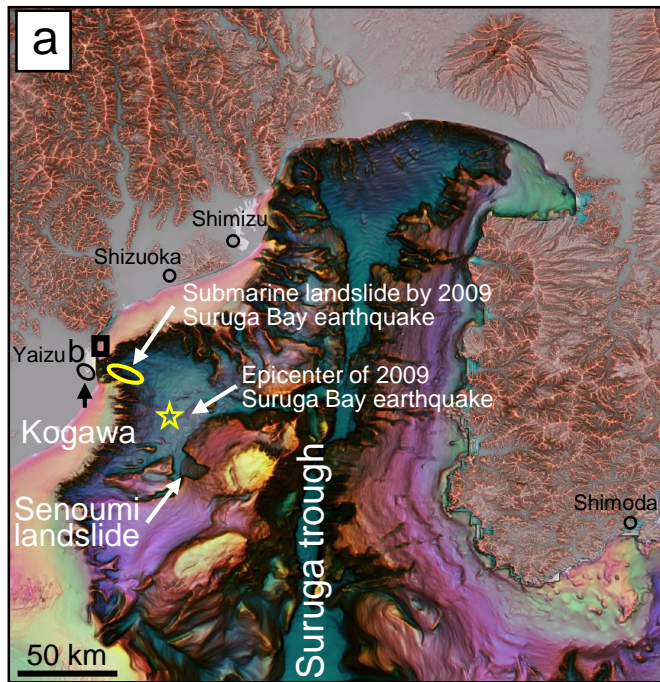
研究地域に伝わる海没の伝承



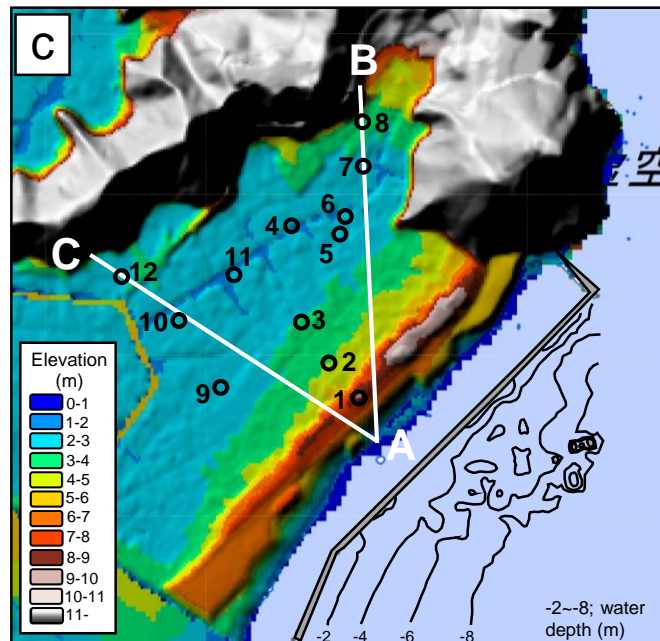
虚空蔵山

那閉神社の伝承

ったという。虚空蔵山麓に祀られた浜当目の氏神那閉神社は、かつてはこの沖合に突き出た洲崎の那閉崎に鎮座していたという伝承がある（『駿河記』）。それが狂濤によって崩れて現在地に遷座し、その洲崎の残りが現在ののかんの岩（観音岩）と記されているが、こうした伝承も岩礁



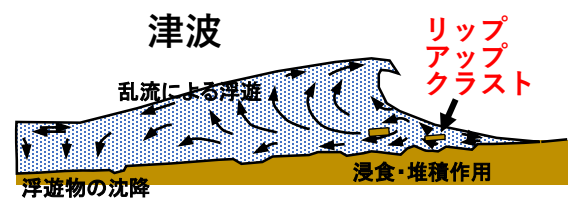
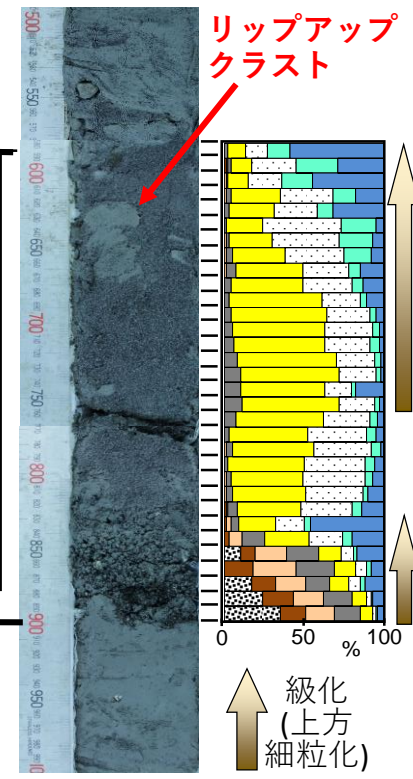
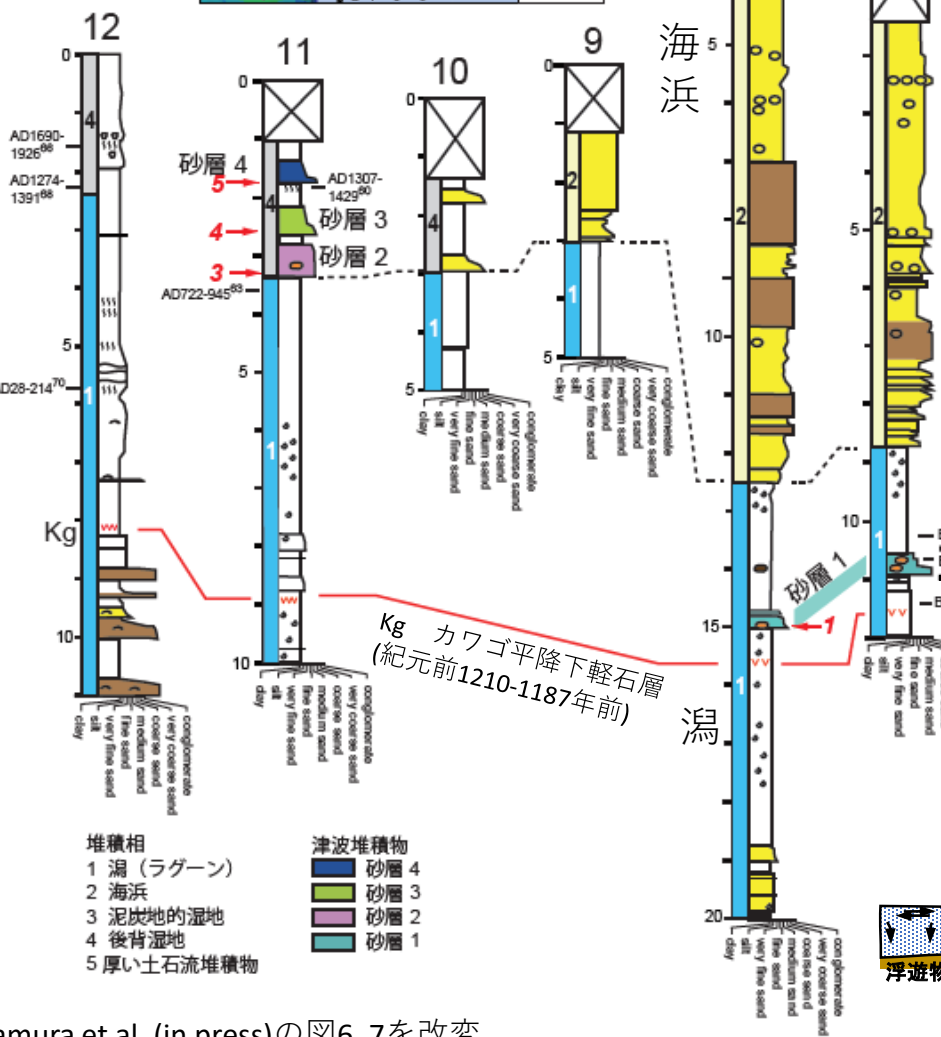
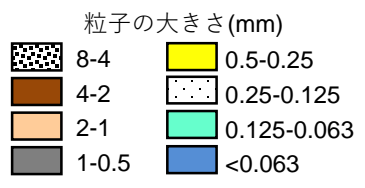
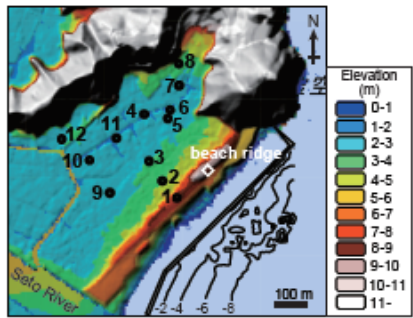
現在の浜当目低地は、海岸沿いに高さ10mまでの浜堤があり、海浜にはテトラポットで防波堤が作られている。Dの写真は1946年の写真で、低地の中央部は水田であった。



現在の海浜の堆積物は砂礫

Elevation (m)

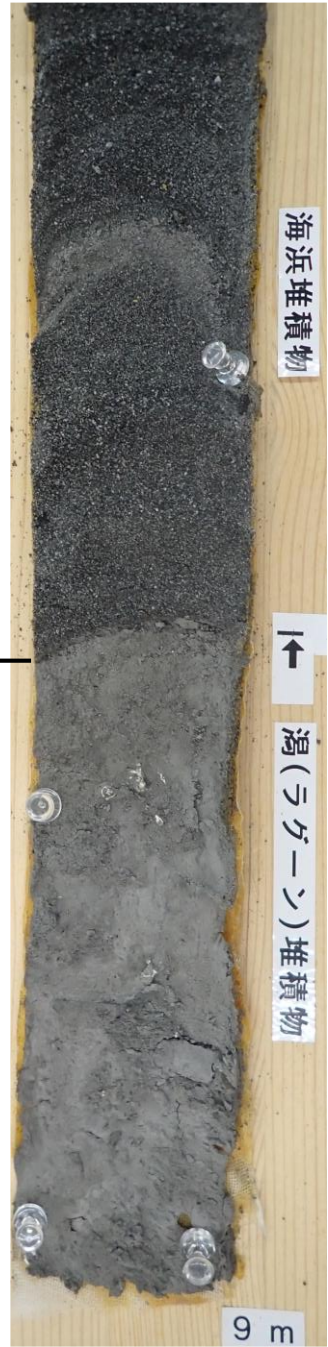
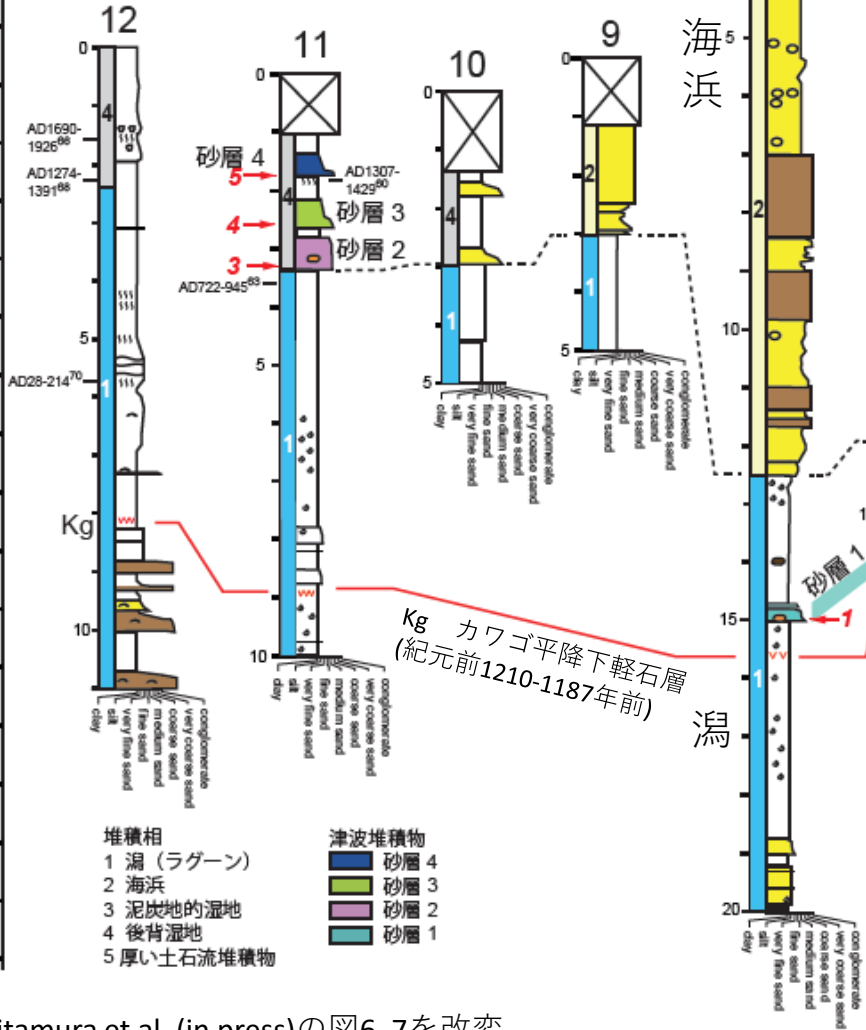
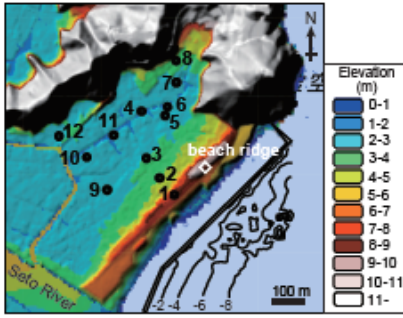
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13



砂層1は紀元前805～405年の間に堆積し、**リップアップクラスト**を含む。これは津波堆積物に特徴的なので、砂層1は津波堆積物と解釈される。紀元前3090年～西暦1096年永長東海地震までの4000年間で、同低地にあった潟に堆積した**唯一の津波堆積物**である。

レベル1津波の発生間隔は約100～150年である。よって、津波浸水の頻度の低さから、この津波は通常のレベル1津波よりも大きかった可能性がある。その原因としては海底地すべりが考えられる。

Elevation (m)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13



浜堤下のボーリングコア試料は、潟(ラグーン)から海浜への堆積環境の変化を示す。潟の持続には、外洋からの波浪を遮蔽する「砂嘴(さし)あるいは砂洲」が必要である。よって、堆積環境変化は、砂嘴/砂洲の消滅とその後の再生がなかったことを示唆する。

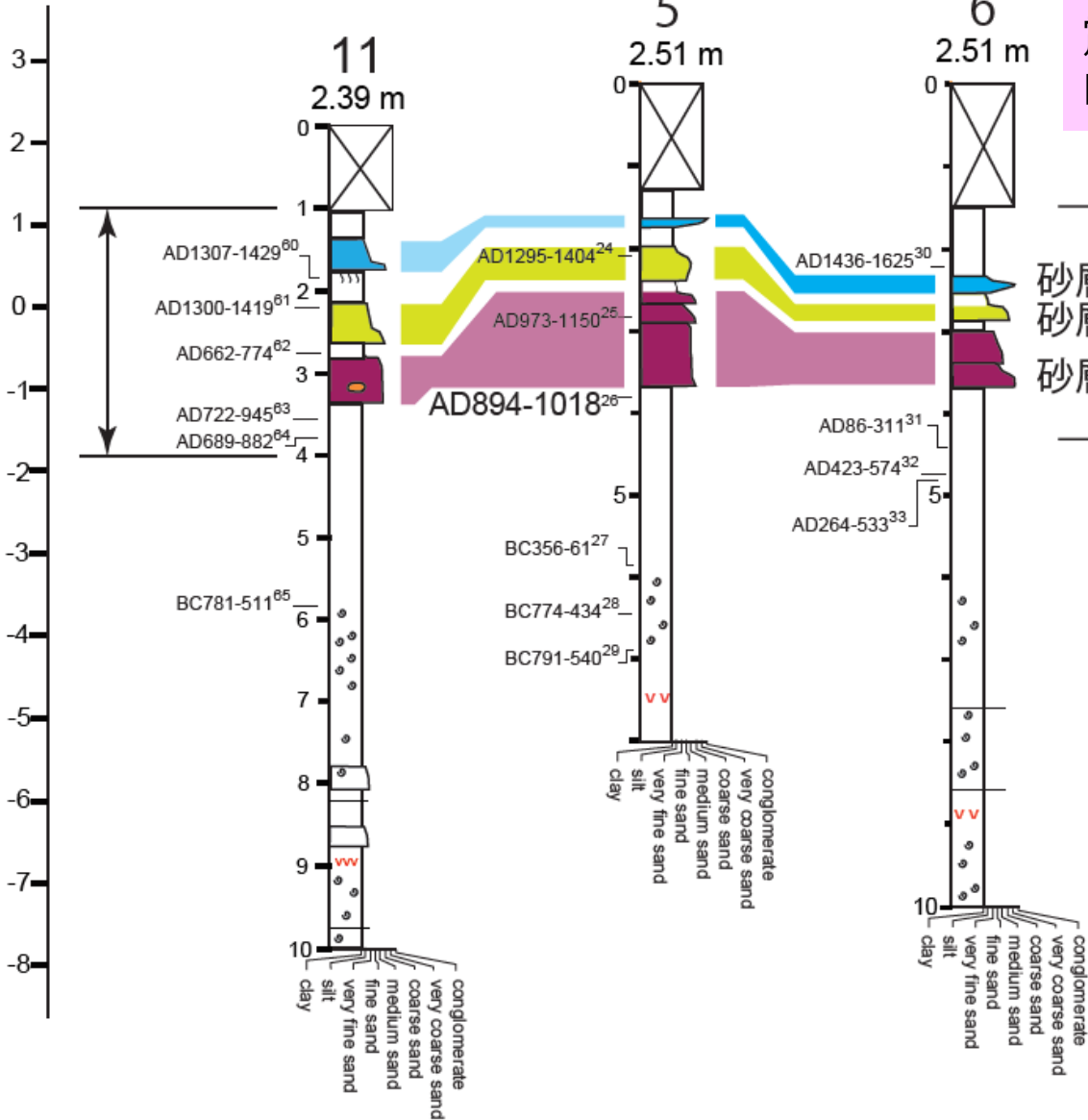
砂嘴 先端が内側に曲がる



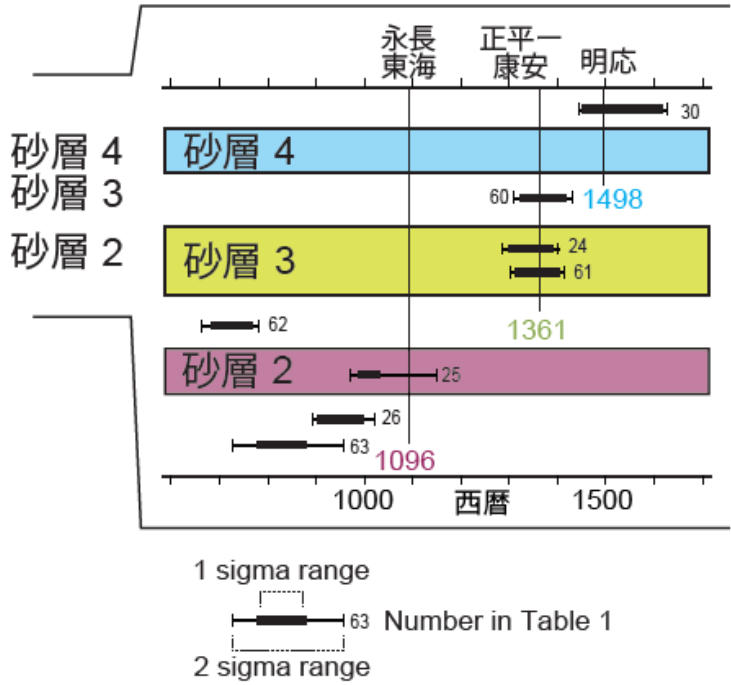
砂洲 先端が曲がらない



標高
(m)

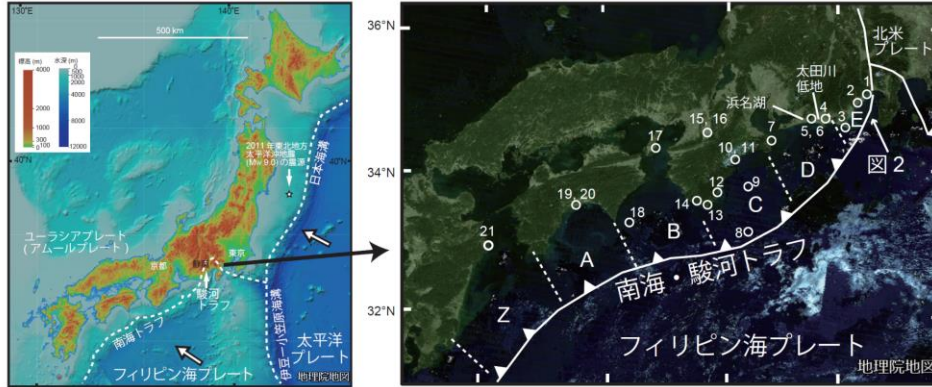


放射性炭素年代測定から、砂層2-4はそれぞれ1096年の永長東海地震、1361年正平康安地震、1498年明応東海地震に伴う津波に対応

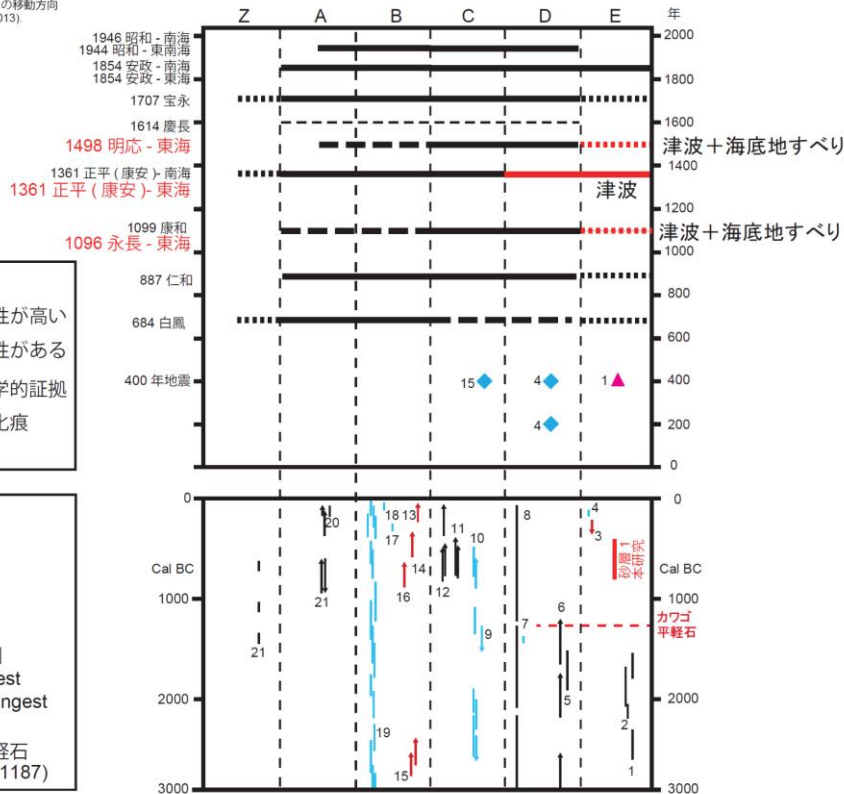


後背湿地では、1096年の永長東海地震の後、砂質津波堆積物が頻繁化する。この変化は、砂嘴/砂洲の消滅により合理的に説明される。

5000年間の南海・駿河トラフで発生した巨大地震

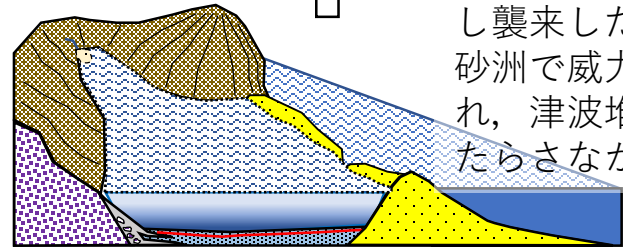


大陸プレートに対する太平洋プレートとフィリピン海プレートの移動方向 (Hirose and Maeda, 2013).



Kitamura et al. (in press)の図1と9を改変

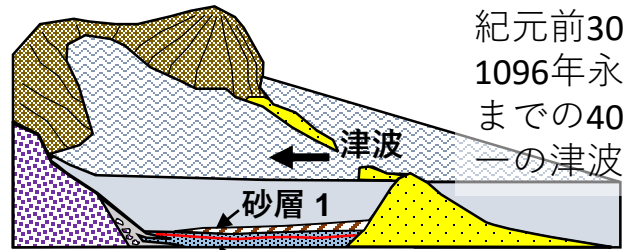
次ページ ↑



レベル1津波は繰り返し襲来したが、砂嘴/砂洲で威力は抑えられ、津波堆積物をもたらさなかった

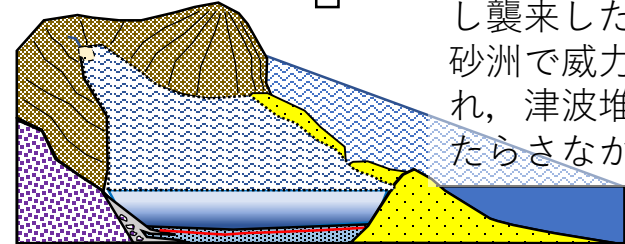
↑

BC 800-405津波



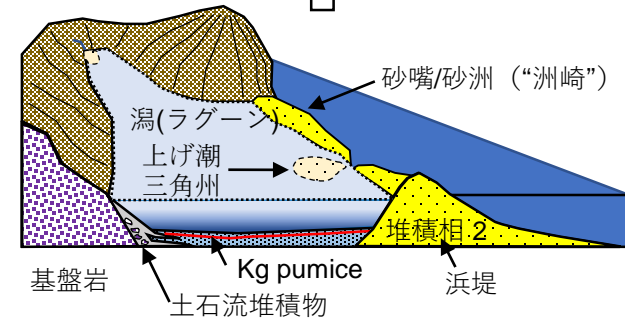
紀元前3090年～西暦1096年永長東海地震までの4000年間で唯一の津波堆積物

↑

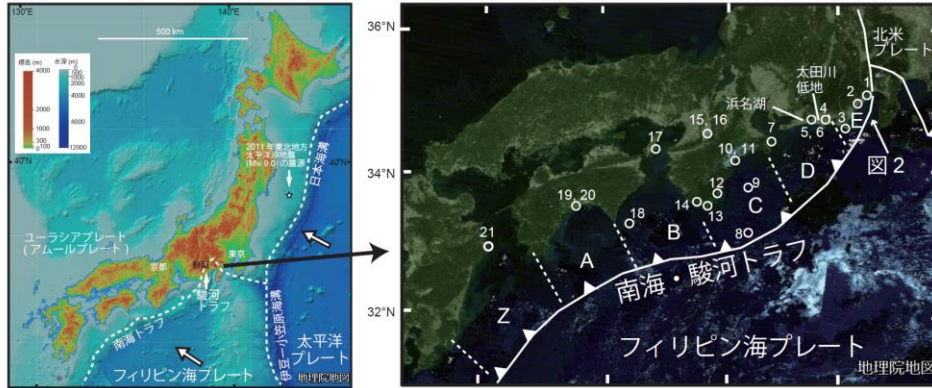


レベル1津波は繰り返し襲来したが、砂嘴/砂洲で威力は抑えられ、津波堆積物をもたらさなかった

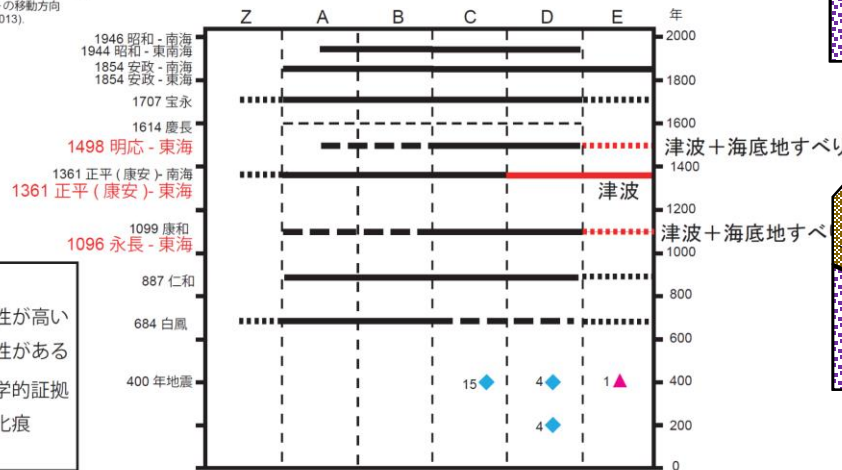
↑



5000年間の南海・駿河トラフで発生した巨大地震

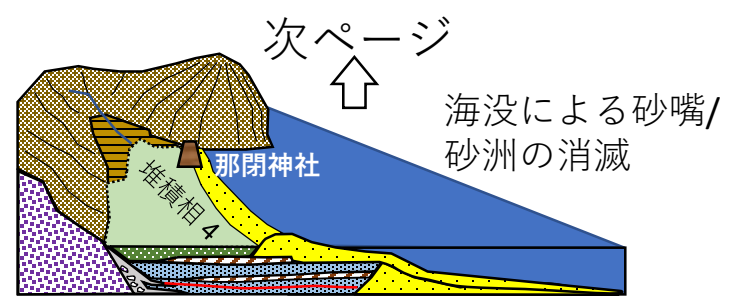
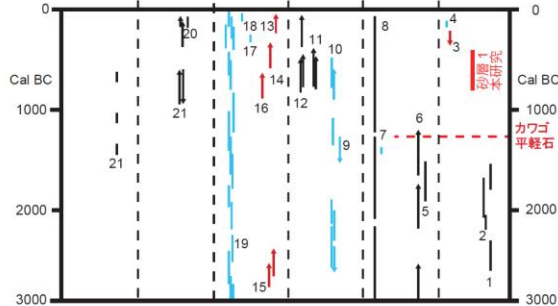


大陸プレートに対する太平洋プレートとフィリピン海プレートの移動方向 (Hirose and Maeda, 2013).

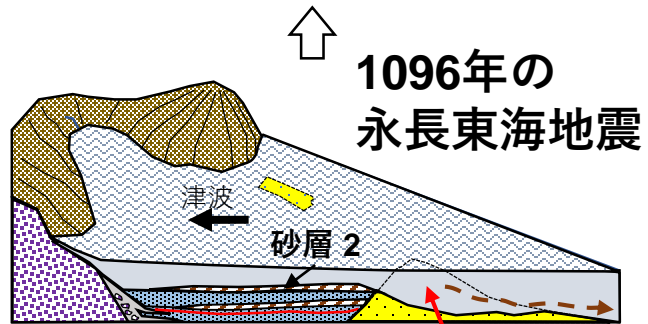


— 確実
 可能性が高い
 - - - 可能性がある
 地質学的証拠
 ◆ 液状化痕
 ▲ 変形

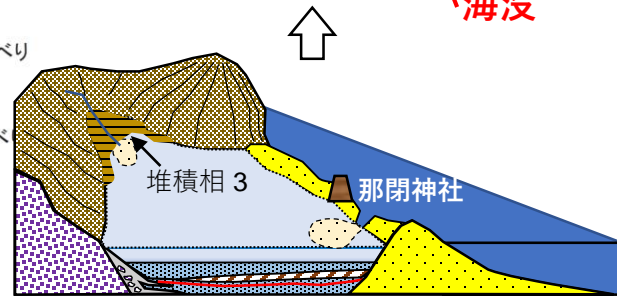
地質学的証拠
 ↓ 津波
 | 変形
 | 液状化痕
 年代の幅
 | 2σ年代範囲
 | Limiting oldest
 | Limiting youngest
 1-21: 地点
 Kg: カワゴ平軽石 (BC 1210-1187)



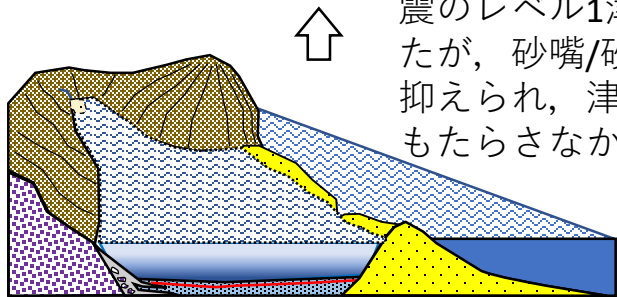
次ページ ↑



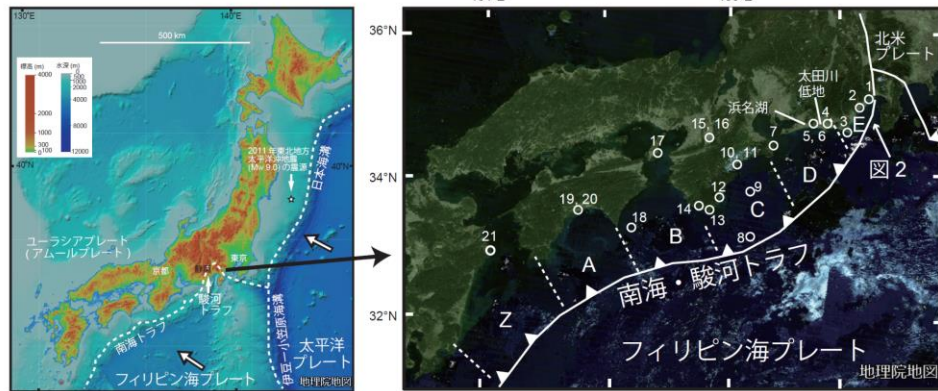
1096年の永長東海地震



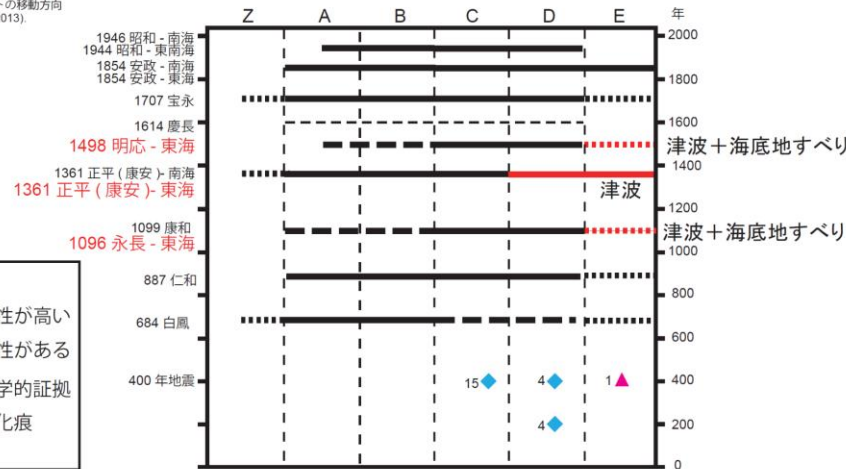
684年白鳳, 887年仁和地震のレベル1津波が襲来したが, 砂嘴/砂洲で威力は抑えられ, 津波堆積物をもたらさなかった



5000年間の南海・駿河トラフで発生した巨大地震



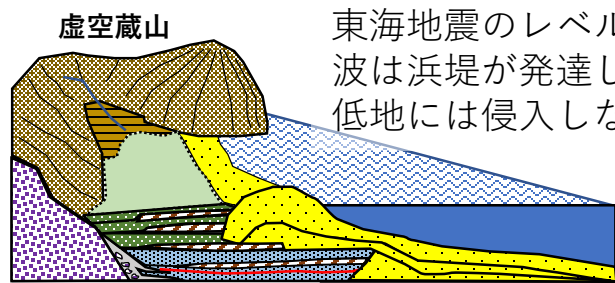
大陸プレートに対する太平洋プレートとフィリピン海プレートの移動方向 (Hirose and Maeda, 2013).



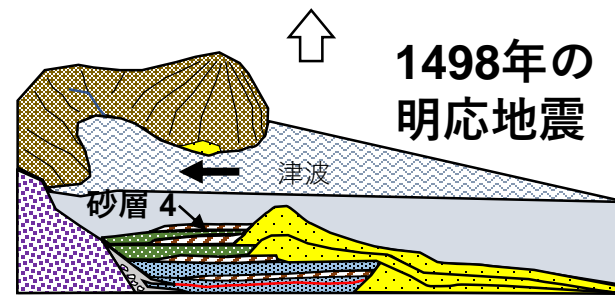
- 確実
 - 可能性が高い
 - - - 可能性がある
- 地質学的証拠
- ◆ 液状化痕
 - ▲ 変形

- 地質学的証拠
- ↓ 津波
 - ↓ 変形
 - ↓ 液状化痕
- 年代の幅
- ↑ 2σ年代範囲
 - ↑ Limiting oldest
 - ↓ Limiting youngest
- 1-21: 地点
Kg: カワゴ平軽石 (BC 1210-1187)

1707年宝永, 1854年安政
東海地震のレベル1の津波は浜堤が発達したため、低地には侵入しなかった

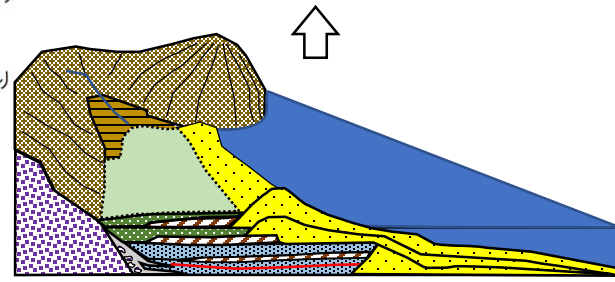


1498年の
明応地震



小川では
海没

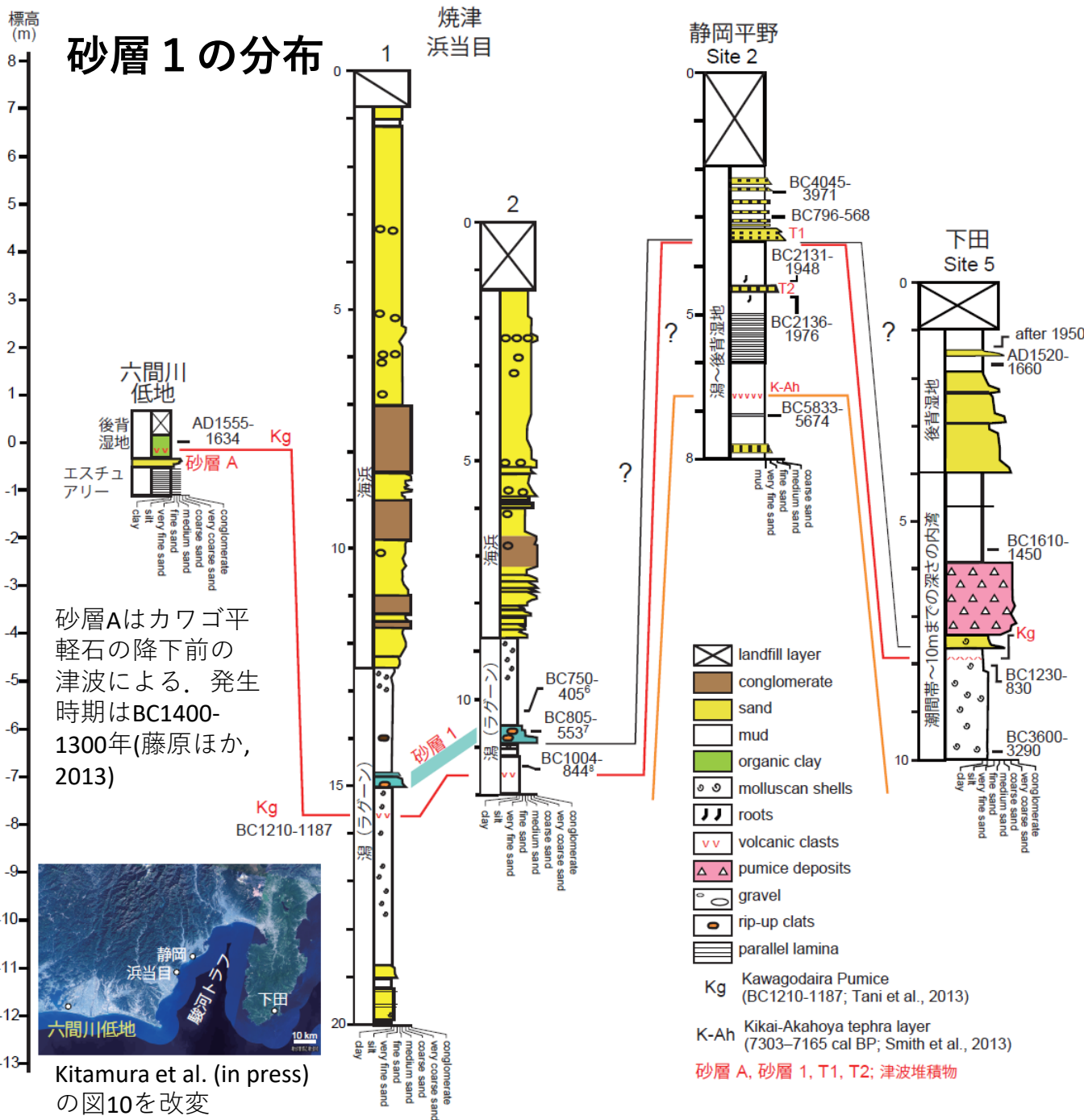
1361年の
正平康安地震



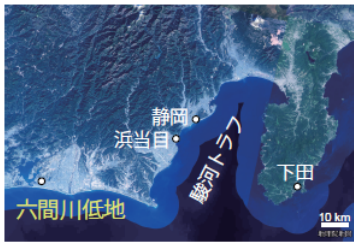
浜堤が未発達

標高 (m)

砂層 1 の分布



砂層Aはカワゴ平軽石の降下前の津波による。発生時期はBC1400-1300年(藤原ほか, 2013)



Kitamura et al. (in press) の図10を改変

砂層1(BC805~405)はBC3090年~西暦1096年永長東海地震までの4000年間で、同低地にあった潟湖(ラグーン)に津波堆積物をもたらした**唯一の津波**である。レベル1津波の発生間隔が90~270年なので、4000年に1回の発生は、この津波がレベル1津波よりも大きかった可能性を示す。

砂層1は、カワゴ平軽石より上位にあるが、浜名湖の六間川低地には、津波堆積物はない。レベル2津波ならば、六間川低地にも分布するはずなので、この津波はレベル2津波ではなく、レベル1津波である。砂嘴/砂洲の高度の低下などもあるが、海底地すべりで、津波の規模が増大した可能性は十分ある。

まとめ

地震・津波の規模	発生頻度	地震の規模 マグニ チュード	津波の 原因	随伴 現象	注意点
レベル1	約100～ 150年	8	海底地殻 変動		
レベル1.5 レベル1+海底 地すべり	焼津では 1096年 と 1498年に 発生	8	海底地殻 変動 海底地す べり	海没	海底地すべりによる津波の 想定は考慮されていないが、 海底地すべりの発生地点の 周辺には、レベル1津波より 到達時間が早く、かつ高い 津波が襲来する可能性あり。
レベル2	4000年間 に発生した 痕跡なし	9	海底地殻 変動		海底地すべりによる津波の 想定は考慮されていない。

今後の最重要課題

BC805～405年の津波の規模増加の原因解明