

## 6. 遠州灘の海岸平野における浜堤や堆積環境から見る南海トラフ巨大地震の地殻変動パターンの解明

廣内大助・松多信尚・佐藤善輝・坂本絵梨・堀和明  
川上賢太・米原和哉

### 1. はじめに

南海トラフで100年程度の間隔で繰り返し発生する海溝型地震における地震前後での地殻変動の経緯を議論する場合、数年～数十年程度の安定した環境で形成される外的営力の地形形成に着目することで地殻変動の変化に応答した地形形成やそれに伴う堆積・侵食による地質を検出できる可能性がある。本研究では完新世の微地形である浜堤に着目しその地形発達と堆積環境の変化から地殻変動を推察する。浜堤はその形成に数年から数十年程度の時間が必要な外的営力による地形と考えられることから、その形成時期や過程を明らかにすることを通して、地殻変動の多様性の解明が期待できる。

### 2. 研究手法

本研究では、遠州灘沿岸の太田川低地を対象に、米軍及び国土地理院撮影の縮尺1万分の1空中写真の判読と現地踏査に基づき、沖積平野の微地形の地形分類図を作成し、地形発達史を推定した。また、ボーリングデータを収集して、地質断面図を作成し、堆積物の大まかな層序・層相を把握したうえで、堤間湿地や浜堤上において、ハンドオーガを用いた掘削調査を実施した。掘削地点の標高は、掛川市発行の2,500分の1都市計画図に記されている標高および5mメッシュDEMに基づいて決定し、海成層上限高度を認定した。

コア試料中から採取した計6試料について、加速器質量分析法による放射性炭素年代測定を地球科学研究所に依頼して行った。得られた年代測定値はCalib7.1を用いて暦年校正した。校正のデータセットはIntCal13.14cを用いた。コア試料について、電気伝導度分析（計6地点）と珪藻分析（計6地点）を行った。

### 3. 太田川低地の堤間湿地堆積物（図1、2）

本地域ではハンドオーガを用いた堤間地内の掘削を行った。掘削して採取したサンプルからは、貝殻片を採取することができなかった。従って上部泥層を覆う最上部泥層と考えられる（鹿島ほか、1985）。廣内ほか（2014）や佐藤ほか（2015）では浜堤列Ⅰと浜堤列Ⅱの間の太郎助でハンドオーガを用いた調査を行っている（図1）。その層相は下部より、下部砂泥層が灰～暗灰色の細粒砂混じりシルトを主体とする地層で、堤間湿地北部（20131225-3コアより北側）の標高-0.8m以深に認められ、層厚数mm～5cm程度の細粒砂が複数層挟まれる。下部砂泥層は上方に向けて黒色を帯び、未分解泥炭～黒泥などからなる泥炭層へ遷移する。泥炭層の層厚は20131225-3コアでは55cm、20141120-2コアでは65cm、20131226-1コアでは60cmである。泥炭層基底からは20131225-3コアで2,305-2,370 cal BP（標高-0.61m、木片）、20141120-2コアで3,965-4,100 cal BP（標高-0.82m、有機質堆積物）の年代測定値が得られている。泥炭層中の標高-0.6～-0.8mには陸側に薄層化する細粒砂層が挟在し、それを覆う泥炭層からは、直上から2,925-3,210 cal BP（20131225-3コア、標高-0.46m、有機質堆積物）、約10cm上位から2,345-2,490 cal BP（20141120-2コア、標高-0.59m、植物片）の年代測定値が得られている。この泥炭層は標高-0.2～-0.3m付近で明瞭な境界を介して有機質泥層によって覆われる。泥炭層最上部からは

1,350-1,445 cal BP (20141120-2コア、標高-0.26m、有機質堆積物)、1,690-1,820 cal BP (20131226-1コア、標高-0.37m、有機質堆積物)の年代測定値が得られている(図11)。有機質泥層は層厚25~55cmで、上位の灰色泥層に遷移する。

本年度掘削した20160617-1コアは、約3km東側の弁財天川左岸の浜堤列Ⅰと浜堤列Ⅱの間に位置する(図1)。20160617-1コアでは、標高-0.8mから-0.1mまで青灰色のシルト質細砂がみられ、茶褐色の細砂から極細砂の薄層を挟んで約30cmの暗褐色の極細砂交じりの粘土に覆われる。太郎助地域と比べるとやや浅いものの、この層が泥炭層および有機質泥層に相当すると考えられる。この層から上方に漸移して灰色の極細砂交じりのシルト層が覆う。この層には細砂の薄層が認められる。これも太郎助の20141120-1コアに見られたものに該当する可能性がある。本報告の20160617-2コア、20160618-3コア、20160618-4コアはともに浜堤列Ⅰの北側に位置し、弁財天川の洪水などの影響が及びにくい閉塞した場所である。特に、20160617-2コア、20160618-3コアは段丘の縁にあたり、氷期においてもそれほど下刻されず、完新世の高海水準期の波蝕棚が広がっていたような場所だと考えられる。20160617-2では標高-0.4m以深で、20160618-3コアでは標高-0.5m以深で中~細砂がみられる。その上に砂質粘土~シルト質細砂層、および粘土層を挟み、20160617-2コアでは標高0.5m、20160618-3コアでは標高0m付近から層厚0.8~0.9mの未分解泥炭から泥炭層が分布している。これら泥炭層の最下部の年代は5,275-4,910 cal BP (20160618-3コア、標高0.1m、有機質堆積物)である(表1)。20160618-4コアと20160618-3コアは、浅部ではほぼ同じ層相を呈し、下部では砂層はみられず、標高-2.6mまで有機質泥層がみられる。また、標高-0.3m付近では有機質泥層の間に厚さ5cmの泥炭層の薄層が認められる。

珪藻分析は20160617-1、20160617-2、20160618-3、20160618-4コアで実施した。20160617-1、20160617-2コアでは化石の保存状態が悪く、ほとんど化石は見つからなかった。20160617-2、20160618-3および20160618-4では、海~汽水環境でみられる珪藻(*Cocconeis scutellum*, *Thalassiosira* sp., *Tryblionella lanceolata*, *Gramatophora oceanica*, *Navicula pygmaea*, *Achnanthes hauckiana*)が多産する層準から、淡水環境でみられる珪藻種(*Pinnularia* spp., *Eunotia* spp., *Gomphonema* spp., *Aulacoseira* spp.)が多産する層準へと変化することから、浜堤列の発達によって淡水環境が成立したことが示唆された。これらの層準は、20160617-2コアが標高0.5m、20160618-3コアが標高0.0m、20160618-4コアが標高-0.35~-1.6mの間と判断できる。

## 4. 考察

### 4.1 遠州灘沿岸地域の地殻変動

太田川低地は低地西部の完新統露頭で3,500 cal BP頃の淡水湿地堆積物を干潟堆積物が覆って堆積することが確認されている(藤原ほか、2015; 佐藤ほか、2016)。このことから、少なくとも103年オーダーの時間スケールでは、沈降傾向が卓越している可能性が高い。本研究でも、海水準の変動がほぼない(Tanigawa et al., 2013)と仮定すれば、浜堤列Ⅰ内側、浜堤列Ⅰと浜堤列Ⅱの間ともに、地殻変動はほとんどなく、やや沈降と考えることができ、仮に完新世後期に若干の海水準の低下があるとしても、沈降傾向にあるといえる。

### 4.2 菊川低地と太田川低地の浜堤の形成年代

太田川低地では、内湾が砂州によって閉塞され、その内湾が埋められて泥炭を堆積させるような陸域の環境になったのは5,275-4,910 cal BPごろであり、内湾を閉塞した砂州が浜堤として成長したと考えれば、浜堤列Ⅰの形成は5,275-4,910 cal BPより前になる。同様に、浜堤列Ⅱによって閉塞された堤間地に泥炭が堆積する環境になるのは2,925-3,210 cal BPであり、浜堤列Ⅱはその直前に形成されたと考えられる。これ以降、浜堤列Ⅲが形成されたと考えられる。

### 4.3 浜堤の形状と地殻変動

海岸線に平行に分布する砂堆を構成する砂には、波によって運ばれてきたものと、風によって運ばれてきたものがある。地殻変動を論じる場合、海水準を指標とするため、砂丘のような風によって形成されたものは除外して考える必要がある。そこで比高が10mを越すものは風成と考えて、それ以下の砂堆を波によって形成されたとして、浜堤の形成を前述したように考えると、浜堤列および浜堤の形状について、以下のような地形発達と考えられる(図3)。

- 1) 浜堤の形成速度に対して相対的にゆっくりと、断続的に海岸線が前進(海退)する場合、浜堤も海岸線に合わせて幅を増大させる。
- 2) 隆起などで海岸線が小さくかつ急激に海退(前進)する場合、現成の浜堤は離水し、新たな海岸線に沿って新しい浜堤が重なるように形成される。
- 3) 隆起などで海岸線が大きく急激に海退する場合、現成の浜堤は離水し、新たな海岸線に沿って新たな浜堤がより標高の低い場所に形成される。
- 4) 沈降などで急激な海進が生じ(海岸線が後退し)、土砂供給量が相対的に少ない場合、現成の浜堤は波蝕によって失われ、新たな浜堤が形成される。
- 5) 沈降などで急激な海進が生じ、土砂供給量が相対的に多い場合、現成の浜堤は波蝕によって失われることなく、新たな浜堤がそれを覆う形で形成される。

このように考えた場合、隆起傾向の場所では、陸側に向かって浜堤列の高度は高くなり、沈降傾向にある場所では陸側に向かって浜堤列の高度は低くなる。また、浜堤列の幅が狭く、浜堤列同士の間隔は大きく独立した浜堤列になる場合には急激な隆起があると考えられ、逆に浜堤列の幅が広く浜堤同士の分離が難しい場合は、地殻変動に対して堆積が卓越し、海水準が安定している、もしくは十分に緩慢な地殻または海水準変動であると考えられる。

このように考えると、遠州灘沿岸の浜堤の形状からその地域の地殻変動像を推定することができる。

太田川低地の浜堤は、陸側の浜堤と海側の浜堤の高度はほぼ同じで、浜堤の幅が狭く、浜堤列は独立しているという特徴がある。単純に考えれば、完新世を通じた地殻変動はあまり顕著ではないものの、海岸線を大きく移動させるような大きな隆起を伴うイベントとその隆起を打ち消すような沈降運動があると推定できるが、もしこのようなイベントがあれば、陸域が隆起イベントの後いったん離水することになる。しかし、20160617-2コア、20160618-3コア、20160618-4コアの柱状図を見る限り、泥炭地が離水するようなイベントは見つからず、むしろ20160618-4コアのように陸域から汽水域に変化するような沈降を示唆するイベントが存在し、これと同様な大きな沈降を示唆する結果は佐藤ほか(2015)でも藤原ほか(2015)でも認められる。これらの事実を矛盾なく説明するためには、1) 大きな沈降を伴う地殻変動が起きるが、既存の浜堤が破壊されることはなく、沈降地域は堆積作用で埋められる、2) その後、余効変動で新たな浜堤が形成されるよりも速い速度で隆起が起こる、3) その隆起が治まるとその場所に新たな浜堤が形成される、という地形発達があればよいと考えられる(図4)。

### 4.4 南海トラフ巨大地震時の地殻変動のパターン

太田川低地では西暦1498年明応地震で隆起、同1707年宝永地震では横須賀で隆起、福田で沈降、同1854年安政東海地震は不明、同1944年東南海地震で若干の沈降を記録している。このことから、150年間隔で発生する一般の南海トラフ地震の際の地殻変動はほぼ0mかやや隆起と考えられる。地震間の地殻変動量は御前崎の沈降量である約8mm/yrと浜松市舞阪の最近50年間の隆起量である約2mm/yrから内挿すると約3mm/yrの沈降となる。ここから計算される沈降量は3m/千年となり、後氷期の平均隆起速度は若干の沈降程度とは大きく異なる。したがって、太田川低地の地震性隆起は史上にはない大きな隆起を伴うタイプの地震時に生じると考えられる。これ

は浜堤列の形態や堆積物から推定された一端大きな沈降を伴ったのち余効変動で大きな隆起があったとした結果と調和的であり、そのようなイベントは浜低列Ⅱが形成された時期と推定し、少なくとも1,000BCごろに発生したと考えられる。

以上のことから、安政東南海地震などの歴史史料から推定される地震とは異なるタイプの地震が存在し、その地震は地震時の沈降と地震後の隆起を伴う可能性が指摘できたが、その発生時期は場所によって異なる。これは、イベントの年代と採取した年代試料の層準との不一致による可能性もあり、今後堆積環境の面的な変化などを加味した十分な検討が必要である。

### 5. まとめ

本研究では太田川低地の沖積平野に分布する浜堤列に着目し、その形態的特徴やボーリング調査によって得られた堆積物の分析に基づいて地殻変動の特徴を考察した。太田川低地では普段は沈降傾向にあるが、時々大きな隆起を伴う地震活動があり、地震時の沈降とその後の隆起という地殻変動が生じてきた可能性が高いこと。遠州灘沿岸では1,000年オーダーで発生する特異な南海トラフ地震が存在すること。浜堤の発達史から地殻変動の性質について考察できる可能性があること、が明らかとなった。

ただし、これらは十分に実証されたとはいえず、まだ推論でしかないため、今後より緻密な検証が必要とされる。

図表

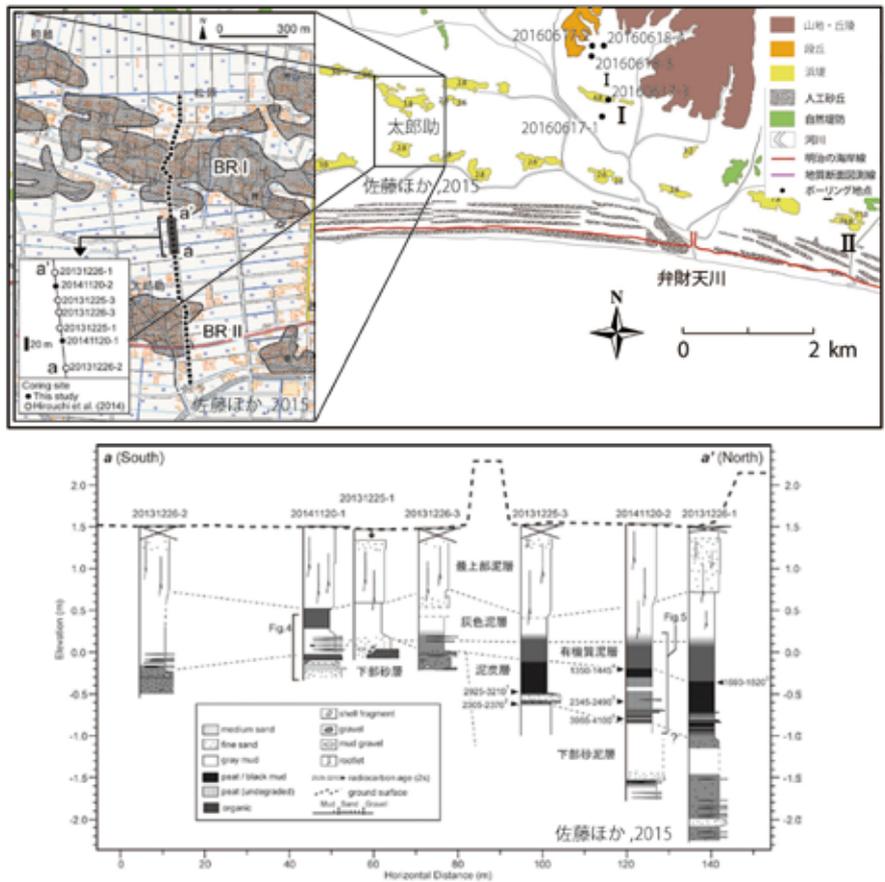


図1 太田川低地のボーリング位置図（上段）および太郎助地域のボーリング結果（佐藤ほか、2015）

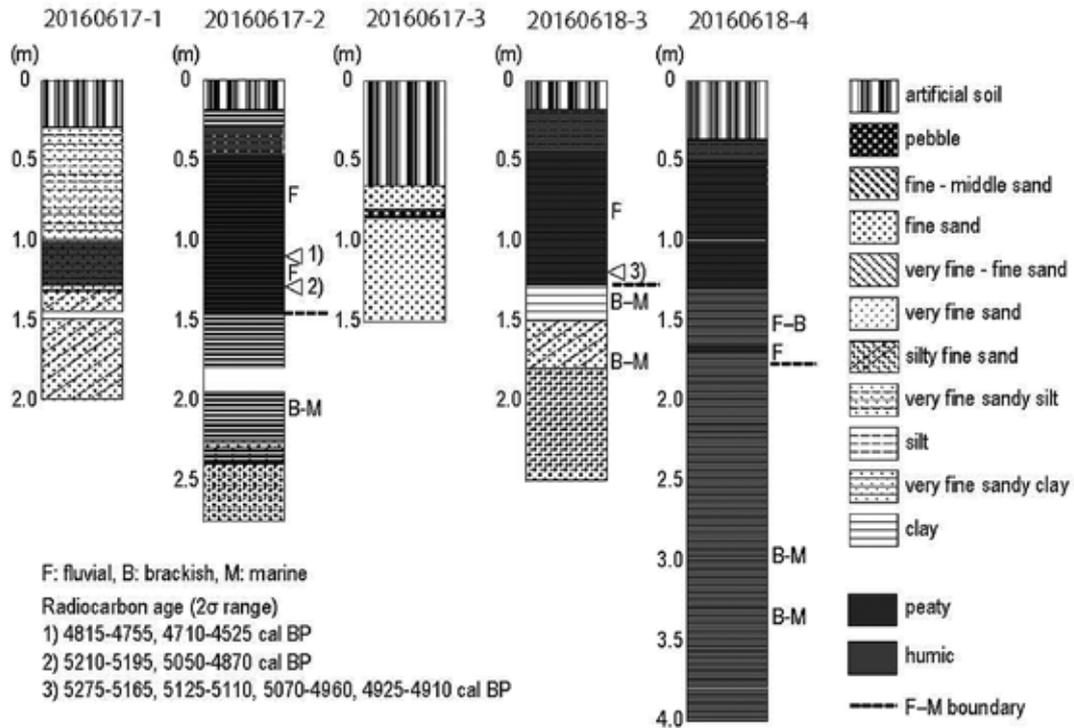


図2 太田川低地の柱状図。位置は図1を参照

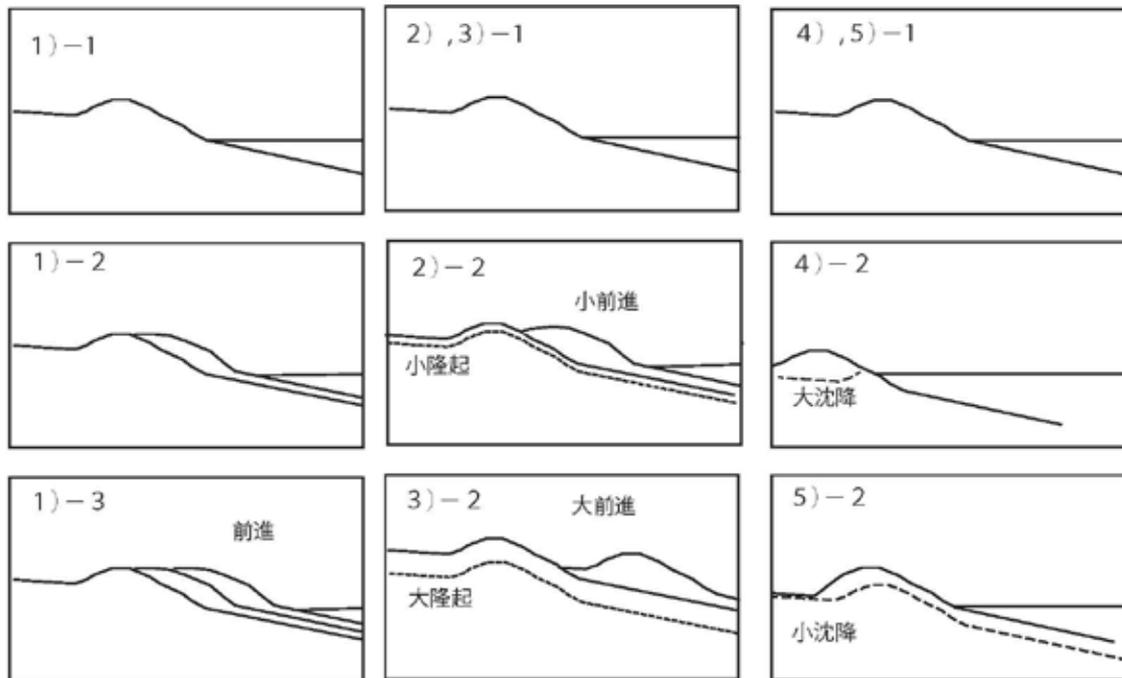


図3 浜堤列の形状と地形発達の関係概念図

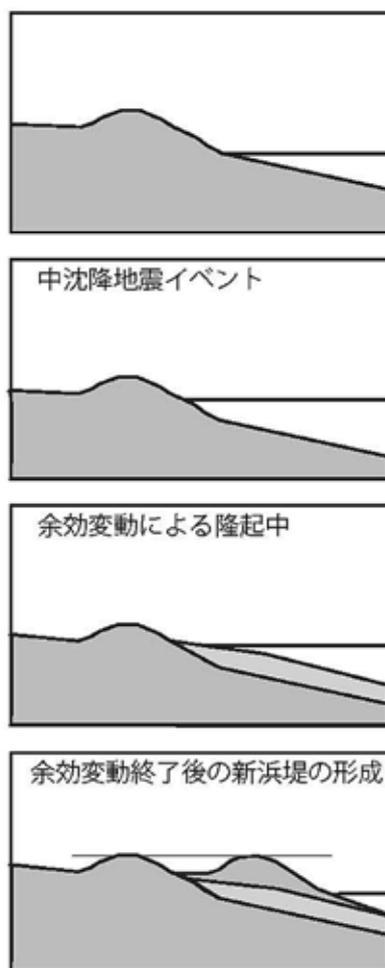


図4 太田川低地の浜堤列の発達図

表1. 年代測定結果

Sampling site	Depth (m)	Altitude (m)	Material	813C (%)	14Cage (BP)	Calibrated age (cal. BP)	Code number	dating method	pre-treatment*
11	1.6	12.2	plant material	-25.4	1570 ± 30	1460 (1530-1380)	Beta-428166	AMS	AAA
11	1.78	12.02	plant material	-26.3	1560 ± 30	1440 (1525-1355)	Beta-428474	AMS	AAA
22	2.0	3.9	Organic sediment	-20.6	2470 ± 30	2720 (2745-2695) 2625 (2635-2615) 2548 (2595-2500)	Beta-428697	AMS	A
25	3.35	3.2	wood	-29.2	330 ± 30	410 (425-395) 303 (320-285) 163 (170-155)	Beta-428696	AMS	AAA
160617-2	110	2.0	Organic sediment	-25.5	4110 ± 30	4785 (4815-4755) 4618 (4710-4525)	Beta-442112	AMS	AAA
160617-2	130	2.0	Organic sediment	-24.0	4410 ± 30	5203 (5210-5195) 4960 (5050-4870)	Beta-442113	AMS	AAA
160618-3	120	1.3	Organic sediment	-26.2	4440 ± 30	5220 (5275-5165) 5118 (5125-5110) 5015 (5070-4960) 4918 (4925-4910) 4895 (4900-4890)	Beta-442114	AMS	AAA

\*AAAは、酸 (acid) -アルカリ (alkali) -酸 (acid) 洗浄、Aは、酸 (acid) 洗浄を意味する。

引用文献

- 廣内大助・佐藤善輝・松多信尚・堀和明・清水龍来・遠藤悠・西川由香・安江健一・顔一勤（2014）静岡県太田川低地の堤間湿地における完新世後期の堆積環境変化, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告, 10, 43-46.
- 藤原 治・北村晃寿・佐藤善輝・青島晃・小野映介・小林小夏・小倉一輝・谷川晃一郎（2015）静岡県西部の太田川低地で見られる弥生時代中・後期の相対的海水準上昇, 第四紀研究, 54, 11-20.
- 鹿島薫・長澤良太・宮崎隆（1985）静岡県菊川低地における完新世の海水準変動に関する資料, 第四紀研究, 24-1, 45-50.
- 佐藤善輝・飯田杏奈・池田一貴・安江健一・廣内大助（2015）プラントオパール分析に基づく太田川低地南部の堤間湿地における完新世後期の海岸植生変化の復元. 愛知工業大学 地域防災研究センター 年次報告書, 11, 35-41.
- 佐藤善輝・藤原治・小野映介（2016）浜松平野西部における完新世後期の浜堤列の地形発達過程. 第四紀研究, 55, 17-35.
- Tanigawa, K., Hyodo, M., & Sato, H. (2013) . Holocene relative sea-level change and rate of sea-level rise from coastal deposits in the Toyooka Basin, western Japan. *The Holocene*, 23, 1039-1051.