

紀伊半島南部沿岸に分布する隆起生物遺骸群集の高度と年代 —南海トラフ沿いの連動型地震の履歴復元—

Height and ages of uplifted sessile assemblage distributed along the southern coast of the Kii Peninsula, south-central Japan –Reconstruction of multi-segment earthquake history along the Nankai Trough–

実倉正展¹・越後智雄²・前杵英明³・石山達也⁴

Masanobu Shishikura¹, Tomoo Echigo², Hideaki Maemoku³ and Tatsuya Ishiyama⁴

¹ 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, m.shishikura@aist.go.jp)

² 財団法人地域地盤環境研究所 (Geo-Research Institute)

³ 広島大学大学院教育学研究科 (Graduate school of education, Hiroshima University)

⁴ 東北大学大学院理学研究科 (Graduate school of science, Tohoku University)

Abstract: To evaluate the history of multi-segment earthquakes caused along the Nankai Trough, we investigated the height distribution, structure and ages of emerged sessile assemblages along the southern coast of the Kii Peninsula. Assemblages are divided into four levels below 4 m in altitude. Some well-developed assemblages are characterized by layered structure composed of several vertical layers. Based on radio-carbon dating result, it can be interpreted that each of the layers has been formed by a seismotectonic cycle with interval of 100-150 years. A whole of assemblage which was developed during 400-600 years was eventually emerged by unusual uplift associated with multi-segment earthquake such as the 1707 Hōei earthquake. Timing of such events are inferred to be 5200 cal yBP, 4500 cal yBP, 3000 cal yBP, 2200 cal yBP, 1700 cal yBP, AD 1361. The height distributions of emerged sessile assemblages indicate that net vertical crustal movement since middle Holocene cannot be explained by accumulation of coseismic vertical displacement associated with repeated earthquakes along the Nankai Trough.

キーワード: 紀伊半島, 南海トラフ, 連動型地震, 隆起生物遺骸群集

Keywords: Kii Peninsula, Nankai Trough, multi-segment earthquake, uplifted sessile assemblage

1. はじめに

南海トラフ沿いの地震発生域は東海, 東南海, 南海の地震セグメントに区分されている (第1図; 地震調査研究推進本部, 2001). 過去千数百年にわたる豊富な歴史資料により, これらの地震セグメントでは100~150年間隔でくり返し地震が発生していることが明らかになっている. これほどの記録を有する地震発生帯は世界でも珍しく, 最も詳しい履歴がわかっている地域と言える. しかし地震時の地殻変動や津波の詳細は古い地震ほど記録がなく, それらは地形・地質に残された痕跡から検討する必要がある. また, 先史時代の履歴解明にいたっては, そのような痕跡の調査が唯一の方法と言える. ところが, 南海トラフ沿いでは地形・地質学的に検出された地震の履歴に関する情報は意外に乏しい. 小松原ほか (2006) は, 南海トラフ沿いでこれまでに報告のあった津波堆積物に関する研究をレビューしているが, この中で, 3000年前以前のデータがほとんどないこと, 個々の地点でのくり返し性の復元が不十分であ

ること, などを問題点としてあげている. また, イベントの検出とその時期について明らかにした報告は多いが, 浸水域の復元などに基づいた規模の評価はほとんど行われていない. このため, 例えば1707年宝永地震 (M 8.6) は東海~南海の3つのセグメントが連動する連動型地震がと考えられているが, 過去にも同様の地震が起こっていた証拠は今のところ得られておらず, その評価が急務となっている.

一方, 海成段丘の調査に基づいた地殻変動に関する研究は古くから行われている (例えば吉川ほか, 1964) が, 個々の地震による隆起の検出については, 離水地形や隆起生物遺骸群集を詳しく調査した前杵による一連の研究 (前杵, 1988a, 1988b, 前杵・坪野, 1990 など) に限られる. ここで注目すべきことは, 紀伊半島, 室戸半島, 足摺半島とも, いずれも100~150年おきに発生する地震の隆起は地形には明瞭に残らず, 1000~2000年おきに隆起が残留して段丘地形や隆起生物遺骸群集として記録されるイベントがあったと指摘していることである. その後前杵 (2001) は室戸半島における隆起生物遺骸群集を,

AMS¹⁴C年代測定を用いて細かく分析し、一つの群集が層状構造をなすこと、それが100~150年ごとの隆起、沈降のくり返しを記録していることを明らかにした。そして4500年前、2800年前、1000年前頃にそれぞれ室戸半島を大きく隆起させ、段丘を形成するようなイベントが起こっていたことを明らかにしている。このようなまれに起こる大きな隆起は、杉山(1992)が指摘したような半島のすぐ沖合で南北性のプレート内の分岐断層が連動した際に生じると解釈されている。最近では御前崎でも段丘状地形とその構成層の調査から同様の隆起イベントが推定されている(吾妻ほか, 2005, 藤原ほか, 2008)。ところが、紀伊半島周辺に関しては、他の半島沖合に見られるような明瞭な断層は見あたらず(第1図)、必ずしも同じ解釈で段丘や隆起生物遺骸群集の分布を説明できるとは限らない。特に紀伊半島は東南海地震と南海地震のセグメント境界に位置し、宝永地震のような連動型地震と1854年安政東海・南海地震(M8.4)や1944年昭和東南海、1946年昭和南海地震(M7.9)の地震イベントとでは地殻変動が異なる可能性がある。これまで紀伊半島の完新世地殻変動については、前述の前杵・坪野(1990)による報告があるが、AMS¹⁴C年代測定を用いた隆起生物遺骸群集の詳細な分析は行われておらず、連動型という視点での研究も行われてこなかった。そこで本研究では、紀伊半島南部沿岸において隆起生物遺骸群集の高度と構造および年代を細かく分析することで、過去の隆起イベントの詳細な復元を試みた。

2. 紀伊半島の地震性地殻変動に関する知見

紀伊半島における地震性地殻変動について、従来の知見をもう少し詳しく述べる。

南海トラフ沿いで起きる海溝型地震は、上盤プレートの変形によって前弧海岸部の顕著な上下動が出現することが知られている。太平洋に突き出た御前崎、潮岬、室戸岬、足摺岬といった半島先端は地震時に隆起し、内陸へ向かって傾動して、半島の付け根は沈降する。紀伊半島における地震性地殻変動は、1946年昭和南海地震(M7.9)では、地震前後の水準点の測量によってその変動パターンが明らかになっている。米倉(1968)は、田辺の水準点を不動点と仮定し、潮岬(串本)で相対的に0.7mの隆起が生じたが、隆起量は北北西に向かって減じていき、すさみ町口和深や新宮市鈴島で0.1mであったと報告している(第2図)。1854年安政南海地震(M8.4)でも史料から同様の現象があったことが知られており、潮岬が1.5m程度、雨島付近が1m程度それぞれ隆起し、新宮付近がほぼ変動ゼロであったらしい(河角, 1956)。一方、連動型と考えられている1707年宝永地震(M8.6)では、隆起の記録は今のところ史料に見つかっておらず、地震時の地殻

変動はよくわかっていない。さらに宝永地震より前の地震に関しても海岸の地変の記録は未発掘である。

このように歴史地震における変動は未解明の点が多いが、長期的な地殻変動については、米倉(1968)が沿岸に分布する海成段丘の高度分布との関係を検討している。それによると、紀伊半島南部ではMIS5eに相当する段丘の高度が、昭和の地震イベントに基づいた1サイクル分の残留隆起量と相関することを指摘し、この地域を地震急性的変動区と呼んだ。一方で、前述の前杵・坪野(1990)は、完新世の離水地形や隆起生物遺骸群集の調査から、昭和のイベントのような100~150年間隔の通常地震による隆起は累積せず、まれに隆起が残留するイベントが起こっていると考えている。このイベントは過去約6000年間に6回生じたと推定されており、実証的データに基づいた非常に重要な指摘である。しかし前述の通り、隆起生物遺骸群集の構造や年代の分析においてさらに詳細に検討する余地がある。最近、穴倉ほか(2008)は1707年宝永地震で隆起、離水した隆起生物遺骸群集を特定した。本稿ではこの報告も含め、過去5500年間における相対的海面変化を記録した隆起生物遺骸群集について述べる。

3. 調査方法

過去の海溝型地震に伴う地殻変動を知る上で、最も有効な手法の一つは、潮間帯に生息する岩礁性固着生物を旧汀線指標として用い、隆起した生物遺骸群集の高度と年代を測る方法である。本研究では特にヤッコカンザシ(*Pomatoleios kraussii*)と呼ばれるゴカイ類に注目した。ヤッコカンザシは、中~低潮位付近の岩礁に石灰質の棲管を形成して固着する生物で、群集を構成し、その上限高度が平均海面にほぼ一致する(三浦・梶原, 1983)ことから、従来から、過去の海面の指標として用いられてきた(茅根ほか, 1987など)。

本研究では現地調査から、前杵・坪野(1990)の報告した化石ヤッコカンザシ群集の再検討と新たな群集の発見を行い、高度の測定と試料の採取を実施した。調査範囲は潮岬周辺を中心に、西はすさみ町口和深、東は新宮市鈴島までである。高度測定は、トータルステーションおよびレーザー距離計を用いて海面からの高度を計測し、串本および浦神の験潮記録を基に潮位補正を行った。

試料はハンマーとタガネを用いて岩盤から剥がすようにして採取した。一部の厚みのある群集についてはブロック状に採取し、垂直断面を観察するため、研究室にて岩石カッターを用いて切断した。また採取した試料はAMSによる¹⁴C年代測定を行うため、試料中からヤッコカンザシの棲管のみを抽出した。小型ドリルを用いて表面に付着した藻類や泥分を削り落とし、希塩酸を用いてエッチングした。測定は

株式会社パレオラボに依頼し、得られた測定値の暦年較正には、IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) および Marine04 (Hughen *et al.*, 2004) のデータセットを用いた。なお、海成試料の¹⁴C年代には海洋リザーバー効果を考慮する必要があるが、その地域差を示す ΔR の値は、紀伊半島ではYoneda *et al.* (2000) に基づき-7とした(第1表)。なお、本文および図表中で扱う年代表記はAD 1950から遡った年数で、単位はcal yBPとするが、684年白鳳地震以降の年代を示す値については暦年も表記した。

4. 調査結果

本研究で検出したヤッコカンザシからなる隆起生物遺骸群集は、標高0.3~3.7 mの範囲内で分布している(第3図)。これらを年代測定結果に基づいて、群集I(5400~4500 cal yBP)、群集II(3000~1700 cal yBP)、群集III(1700 cal yBP~AD 1361)、群集IV(AD 1361以降)の4つのグループに区分した。群集Iと群集IIの間に大きな時間間隔が存在するが、この期間の年代を示す群集は、これまでの調査では見つかっていない。

また、群集は場所により厚く発達しており、第3図では群集の厚みを模式的に表現した。水平方向に幅広い部分が群集の厚い部分である。以下に地点ごとの観察結果を記載する。

4.1 鈴島

鈴島では、前空・坪野(1990)が報告した隆起海食洞の再調査を行った(第4, 5図)。この海食洞内には、標高0.7~3.7 mにほぼ連続的に生物遺骸群集が固着している様子が観察される。これらは基本的にはヤッコカンザシで構成されるが、一部でフジツボ類が覆っていたり、穿孔貝に穿たれていたりする。群集の厚さは高度によって異なる。標高2.8~3.0 m付近、1.3~1.4 m付近にそれぞれ厚さのピークがあり、高位と低位に区分できる。高位のピークは群集Iに相当し、全体的にやや固結している。この群集の最上部に近い標高3.5 m付近から採取した試料は5258~5035 cal yBPを示す。また、標高2.8 m付近の試料は4810~4616 cal yBPであった。標高2.5~3.0 m付近においてブロックサンプルを採取し、その断面を観察したところ、垂直方向に密度の不連続があり、少なくとも2層に分けられる(第4図)。このブロックサンプル下部において、壁面に固着していた部分と表面の部分でそれぞれ試料を抽出したところ、壁側で5230~4971 cal yBP、表面側で4592~4411 cal yBPという年代が得られた。

低位のピークは群集IIに相当し、最上部が標高2.1 mで、比較的新鮮な状態のヤッコカンザシからなり、場所により厚さ15 cmまで発達している(第5図)。標高2.0 m付近の表面から採取した試料は1978~

1865 cal yBPを示す。標高1.5~1.8 mにかけて採取したブロックサンプルの断面を観察したところ、垂直方向に4層の層構造を成すことが明らかになった(第5図)。各層の境界は、高位の群集と同様に密度が異なり、さらにヤッコカンザシ以外のフジツボ類が挟まれていることから、比較的容易に識別できる。この群集から、岩盤に固着していた部分、および各層の表面側の部分でそれぞれ年代測定試料を合計5試料抽出したところ、壁側から表面側に向かって2286~2093 cal yBP, 2139~1982 cal yBP, 1973~1823 cal yBP, 1917~1753 cal yBP, 1767~1584 cal yBPという年代を示し、おおよそ100~150年ずつ表面に向かって若くなっている。

低位の群集からさらに下部に向かって標高0.7 m付近までヤッコカンザシが薄く海食洞壁面を覆っている。この部分は群集IIIに相当し、最下部の標高0.7 mから採取した試料からは、1285~1174 cal yBPという年代が得られた。

4.2 太地

太地周辺では、鷲ノ巣崎へ向かう遊歩道沿いに分布する2カ所の隆起海食洞内において生物遺骸群集を観察した。このうちの1カ所はすでに前空・坪野(1990)が報告しており、海食洞内の壁面に標高2.0~4.2 mにかけて連続的に生物遺骸群集が厚さ最大4~5 cmで固着している様子が観察される(第6図)。表面はほとんどがフジツボ類で覆われるが、その内側にはヤッコカンザシが分布している。ヤッコカンザシに限って観察すると分布上限が標高3.7 mの高位群集と標高3.0 mの低位群集の2つのレベルにおおよそ区分でき、それぞれ群集IとIIに相当する。高位の群集の標高3.4 m付近から採取した試料の年代は5441~5290 cal yBPであった。一方、低位の群集の標高2.5 m付近から採取した試料は2736~2556 cal yBPという年代を示した。

本研究で新たに発見したもう一方の海食洞では、標高2.3~2.8 mに比較的新鮮なヤッコカンザシからなる生物遺骸群集が分布している。上記の海食洞における低位の群集とほぼ同じレベルで群集IIに相当するが、その上限付近から採取した試料は1884~1726 cal yBPと比較的新しい年代を示す。

4.3 山見鼻

山見鼻では現海面に近い標高0.3~0.7 mに発達する群集を発見し、ブロックサンプルを採取した(第7図)。その断面を観察したところ、全体の厚さは12 cm程度で、垂直方向に少なくとも3層に区分できる。各層の表面側と岩盤に固着していた部分から抽出した年代試料からは、岩盤側から表面側に向かってそれぞれ606~500 cal yBP, 486~337 cal yBP, 422~292 cal yBP, 251~6 cal yBPという年代が得られた。すなわち表面に向かっておおよそ100~150年ずつ若

くなっている。また暦年で表示すると AD 1344～1450, AD 1464～1613, AD 1528～1658, AD 1699～1855 となり、歴史時代のイベントを記録していることがわかる。

4.4 池島・荒船崎

池島および荒船崎周辺では群集 I～IV に相当する 4 つのレベルで生物遺骸群集が観察された。

群集 I は池島の標高 2.8～3.0 m 付近に分布し、これは前杵・坪野 (1990) によってすでに報告されている (未補正年代で 4360 ± 180 yBP)。今回、改めて年代測定を行ったところ、5247～5055 cal yBP という年代を得た。

群集 II に相当する群集は、荒船崎付近でヤッコカンザシからなるよく発達した生物遺骸群集が観察できる (第 8 図)。この群集は小規模な隆起海食洞の入り口付近に標高 2.7～3.1 m にかけて厚く発達し、傾斜した岩盤を覆うように分布していることが特徴である。群集上部の標高 3.0 m 付近から採取した試料は 1873～1718 cal yBP という年代を示した。またこの群集の上部と下部からそれぞれブロックサンプルを採取し、垂直断面を観察した。その結果、群集上部の断面は、傾斜した岩盤から斜め上方へ重なるような層構造が見られた。1 層が 1.0～2.0 cm 程度でおよそ 9 層程度が読み取れる。各層から年代試料は得られていないが、岩盤に固着している部分の層からは、2922～2759 cal yBP, 2837～2720 cal yBP という年代を示した。一方、最も新しいと考えられる表面に露出する層からは、1862～1709 cal yBP という年代が得られた。したがって群集全体としておよそ 1000 年かけて成長しているように見える。群集下部の断面からは多層構造は見られないが、色調や密度、固結度の違いから明瞭に 2 層に区分できる。この 2 層の境界を挟んで壁側と表面側でそれぞれ年代試料を抽出したところ、2468～2315 cal yBP と 1965～1814 cal yBP という年代を示し、間に 500 年程度のギャップがみられた。

群集 III は標高 1.1～2.1 m のレベルに点在し、池島では標高 1.3～1.9 m にヤッコカンザシの群集が分布し、上部と下部からそれぞれ 1559～1402 cal yBP, 1598～1426 cal yBP という年代を得た。

群集 IV の一部は宍倉ほか (2008) で報告した 1707 年宝永地震または 1854 年安政地震に対比される可能性の高い群集であり、池島の標高 0.6～0.8 m に分布するヤッコカンザシは 271～134 cal yBP および 249～59 cal yBP (暦年で AD 1679～1816 および AD 1701～1891) という年代を示す。また荒船崎でもこれに対比されると考えられる群集が標高 0.5～0.9 m に分布する。一方、標高 0.3 m 付近に較正限界を超えた 387 ± 22 yBP という非常に若い年代を示すヤッコカンザシが見つかった。これは 1946 年昭和南海地震に対比される可能性がある。

4.5 出雲崎・潮岬

出雲崎および潮岬では、群集 I, III, IV にそれぞれ相当する群集を観察した。

群集 I は潮岬周辺で観察され、標高 2.5～2.7 m と 2.0～2.5 m に分布する。これらは前杵・坪野 (1990) がすでに報告しており、それぞれ 3265 ± 105 yBP, 2430 ± 120 yBP という未補正年代を得ている。本研究で改めて試料を採取し、年代測定を行ったところ、それぞれ 4839～4663 cal yBP, 4676～4444 cal yBP というこれまでより古い年代を示した。

群集 III に相当する群集は、宍倉ほか (2008) ですでに報告しており、出雲崎で標高 1.6 m 付近、潮岬で標高 1.3～1.5 m に分布し、後者の群集から抽出したヤッコカンザシは 615～511 cal yBP (暦年で AD 1335～1439) という年代を示す。これは 1361 年正平地震に対比される可能性が指摘されている。

群集 IV も宍倉ほか (2008) で報告済みで、出雲崎では標高 0.7～1.3 m に、ほぼ連続的に岩盤を薄く覆うヤッコカンザシ群集が観察される (第 9 図)。この群集上部からは 277～137 cal yBP および 274～138 cal yBP (暦年でそれぞれ AD 1673～1813, AD 1676～1812) という年代が得られている。また、潮岬でもこれに対比されると考えられるヤッコカンザシが標高 0.7 m 付近に観察された。これらは 1707 年宝永地震に対比されている。

4.6 雨島

雨島では比較的規模の大きい海食洞の壁面に、生物遺骸群集が標高 1.7～2.8 m の間でほぼ連続的に分布している様子が観察される (第 10 図)。表面はほとんどフジツボ類で覆われているが、その内側はヤッコカンザシで構成されている。前杵・坪野 (1990) はこの地点で群集上部から下部にかけて 6 点で年代試料を採取し、2830～870 yBP という未補正年代を得ている。本研究で群集上部の標高 2.6 m 付近からブロックサンプルを採取し、垂直断面を観察したところ、厚さ 3.0～4.0 cm の断面に明瞭な 2 層の層構造が識別できた。壁側と表面側からそれぞれヤッコカンザシの年代試料を抽出し、測定したところ、壁側から 5194～4859 cal yBP, 表面側から 2775～2667 cal yBP という年代が得られた。つまり壁側から前杵・坪野 (1990) よりも古い年代が得られたこと、壁側と表面側とでおよそ 2500 年ものギャップを生じていることが新たに明らかになった。このため、本地点では群集 I を群集 II が同じレベルで覆っていると判断される。

一方、群集最下部の標高 1.7 m から採取したヤッコカンザシの試料は、1300～1185 cal yBP (暦年で AD 650～765) という年代を示し、群集 III に相当する。

4.7 口和深

調査地域の最も西に位置する口和深では、標高 2.7

～2.8 m 付近と標高 1.5 m 付近にヤッコカンザシからなる生物遺骸群集が観察され、それぞれ 1975～1823 cal yBP, 1122～959 cal yBP (暦年で AD 828～991) という年代が得られた。前者は群集Ⅱ、後者は群集Ⅲに相当する。

5. 隆起生物遺骸群集の高度、構造、年代の解釈

5.1 生物遺骸群集の層構造の成因

本研究で得られた隆起生物遺骸群集の高度と構造、年代から、いくつかの興味深い事実が明らかになった。その一つとして、まず厚く発達した群集が層構造をなしていることがあげられる。

鈴島における群集Ⅱや山見鼻における群集Ⅳの垂直断面から観察された層構造は、およそ 100～150 年ごとに 1 層ずつ形成されており、全体として 400～600 年かけて群集が成長したことがわかる。このような生物遺骸群集の層構造の成長は、室戸半島においても報告されている(前杵, 1999, 2001)。前杵(2001)はこれを南海トラフ沿いで 100～150 年間隔に生じるプレート間地震の地殻変動サイクルと関連づけている。室戸半島では地震時の急激な隆起により、潮間帯に固着したヤッコカンザシが離水するが、地震間の沈降によって再び潮間帯のレベルに戻るため、そこに新たなヤッコカンザシが覆うように固着して両者の間に不連続面を生じ、層構造を形成すると考えられている。またそのような層構造をなす群集が最終的に離水しているのは、まれに起こる通常時とは異なる隆起イベントにより、隆起が残留するためであると解釈されている。

本研究で検出した層構造をなす群集もこのようなプロセスで形成された可能性が高い。すなわち紀伊半島でも 100～150 年間隔の通常地震サイクルに伴って層構造が形成され、まれに異常な隆起イベントが生じていると考えられる。この異常な隆起イベントは、群集全体が成長する時間からみて 400～600 年おきに生じている可能性が高い。鈴島の群集Ⅰも多層構造は識別できないが、全体としておよそ 600 年かけて成長していることがわかる。一方、荒船崎の群集Ⅱの上部断面は、およそ 1000 年かけて群集が成長したことを示しており、他の地点よりやや長い。しかしその群集の下部断面に見られるように、群集内で時間のギャップを生じている部分もあり、2 回分のイベントが見かけ上重なっている可能性もある。今後各層の年代を明らかにするなどして検討していく必要があるだろう。

5.2 連動型地震の履歴

山見鼻の群集は、最も表層の年代が AD 1699～1855 であることや、高度が標高 0.7 m であり、池島や出雲崎で見つかった宝永地震に対比される群集と同程度のレベルにあることから、宝永地震時の隆起

で離水した可能性が高い。この場合、宝永地震が通常とは異なる隆起イベントであったことになる。穴倉ほか(2008)では、宝永地震で離水した生物遺骸群集が比較的良好に保存されているのに対し、安政や昭和の地震イベントで離水した生物遺骸群集がほとんど見つからないことを指摘しており、宝永地震に伴う隆起が安政や昭和よりも大きかったと解釈している。宝永地震は東海～南海の地震セグメントが連動した地震であり、津波の規模も大きかったことが史料から推定されている(渡辺, 1998 など)。したがって鈴島や荒船崎の群集も過去の宝永地震タイプの連動型地震で離水したと考えられ、その時期は、鈴島の群集Ⅰの表層の年代から 4500 cal yBP 頃、鈴島や荒船崎の群集Ⅱの表層の年代から 1700 cal yBP 頃とそれぞれ推定される。また、群集が固着した壁側の年代を連動型地震で離水した直後とみなせば、5200 cal yBP 頃や 3000 cal yBP 頃および 2200 cal yBP 頃の直前にもイベントが推定できる。同様に山見鼻の群集Ⅳも壁側の年代から、AD 1344～1450 の直前に連動型地震を推定できる。この時期に発生した歴史地震として 1361 年正平地震が候補としてあげられる。なお穴倉ほか(2008)においても宝永地震タイプの 1 回前の連動型地震の候補として 1361 年正平地震の可能性を論じている。

今のところ群集Ⅲのレベルからは層構造をなす発達した生物遺骸群集を発見しておらず、これまでに検出した生物遺骸群集の年代は、1598～511 cal yBP の間に分散している。この中には 684 年白鳳地震や 887 年仁和地震、1096, 1099 年の地震、1361 年正平地震といった歴史地震に対応するものがあると考えられるが、前述の 1361 年正平地震以外に連動型地震の可能性のあるイベントを特定することはできない。

ところで前杵(2001)によれば、室戸半島で観察される隆起生物遺骸群集は、それぞれがおよそ 2000 年程度かけて成長しており、完新世中期以降、4500 年頃前、2800 年前頃と 1000 年前頃の 3 回しか異常な隆起は生じていない。つまり室戸半島では、本研究で検出されたような連動型地震と考えられる 400～600 年間隔の隆起イベントの痕跡はなく、紀伊半島とは地殻変動様式が異なっている。これは、室戸半島沖合では異常な隆起の原因と考えられる海底断層が存在するのに対し、紀伊半島の沖合ではそれが明瞭でないこと、紀伊半島が地震セグメントの境界に位置することなど、両地域のテクトニックセッティングが異なることが原因として考えられる。今後フィリピン海プレート上面の形状などを考慮しながら、連動型地震と異常な隆起のメカニズムを解明していく必要がある。

5.3 各群集の高度分布からみた地殻変動

紀伊半島南部は南海トラフ沿いの地震時に南端の潮岬で最も大きく隆起し、北または北西へ傾動して

いると考えられている。群集Ⅳの高度分布はこれと調和的であり（第3図）、南端ほど高く、1707年宝永地震では潮岬周辺が最も大きく隆起したと考えられている（穴倉ほか，2008）。1707年以降の残留隆起量は最大で1.3 mと推定される。

群集Ⅲは年代が分散しているため、高度分布から地殻変動の傾向を見るのは難しい。群集Ⅱの高度分布は、半島南東岸の鈴島と太地との間でおおよそ1 m程度の比較的大きな高度変化が見られるが、太地と荒船崎との間ではほぼ同じレベル（標高2.0~3.0 m）である。また、半島南西岸の雨島や口和深もほぼ同じレベルに分布する。南端付近では群集Ⅱに相当する群集は見つかっていないため、群集Ⅳのような南端ほど高い傾向があるかは今のところ不明であるが、少なくとも1700 cal yBP頃以降最大で3 m程度の累積隆起量が見積もられる。

一方、群集Ⅰの高度分布は、南端が最も高いわけではないことを示している。むしろ荒船崎や太地、鈴島に向かって北東方向に徐々に高度を増しているように見える。しかも荒船崎や雨島では、群集Ⅰと群集Ⅱが同じレベルに混在し、特に雨島では群集Ⅰのヤッコカンザシ（5194~4859 cal yBP）を、群集Ⅱのヤッコカンザシ（2775~2667 cal yBP）が覆っている様子が明瞭に観察された。すなわちこれら2つの群集が形成された時代は、ほぼ同じ海面の高さであったことを示している。言い換えれば、雨島や荒船崎では、見かけ上は5200 cal yBP頃以降、少なくとも2600 cal yBP頃（荒船崎では1700 cal yBP頃）までの間、隆起が累積していないことになる。

このように群集Ⅰの高度分布は南海トラフ沿いの地震時の変動とは一致せず、紀伊半島南部における完新世中期以降の地殻変動が、必ずしも最近の地震性地殻変動の累積のみで説明できないことを示している。また雨島や荒船崎において群集Ⅰと群集Ⅱが混在している原因については、ユースタティックな海面変動との関係も考慮しなければならない。

ここで注目したいのは、群集Ⅰと群集Ⅱの間に時間間隙が存在し、4500~3000 cal yBPの年代を示す生物遺骸群集が、本研究で調査した範囲では一切見つかっていないことである。そこで一つの解釈として、海面自体が群集Ⅰ形成以降においてユースタティックに大きく下がり、その後群集Ⅱ形成時に上昇して群集Ⅰのレベルまで戻ったため、4500~3000 cal yBP頃の群集は現在の海面以下に没している可能性が考えられる。また逆に群集Ⅰ形成以降に海面が上昇し、その後群集Ⅱ形成時に群集Ⅰのレベルに戻ったため、4500~3000 cal yBP頃の群集が、群集Ⅰよりも高い位置に残されているのかもしれない。今後、さらに精査し、完新世を通じた地殻変動の傾向を検討するとともに、ユースタティックな海面変化との分離を行う必要がある。

6. まとめ

本研究では、紀伊半島南部沿岸に分布する隆起生物遺骸群集の高度、構造、年代から、以下のことが明らかになった。

1. 半島南東部の鈴島や山見鼻、荒船崎では層構造をなす厚く発達したヤッコカンザシからなる生物遺骸群集が観察された。これらの年代測定に基づけば、各層は100~150年おきに発生する南海トラフ沿いの地震の地殻変動サイクルによって形成されており、400~600年に一回の割合で起こる連動型地震に伴う異常な隆起によって離水したと考えられる。

2. 最新の連動型地震は1707年宝永地震である。それより過去の連動型地震の発生時期は、生物遺骸群集の年代に基づけば、5200 cal yBP頃、4500 cal yBP頃、3000 cal yBP頃、2200 cal yBP頃、1700 cal yBP頃と推定され、歴史地震では1361年正平地震も連動型地震であった可能性がある。

3. 生物遺骸群集の高度分布から推定される完新世中期以降の地殻変動は、最近の地震性地殻変動の傾向とは必ずしも一致せず、ユースタティックな海面変化との関係も考慮する必要がある。

本研究で明らかになった連動型地震の履歴は、まだ一部のみであり、今後さらに調査を進め、より詳細な履歴を復元していかなければならない。また、4500~3000 cal yBPの年代を示す生物遺骸群集が見つからない原因も解明していく必要がある。さらに長期的な地殻変動との関係も検討するため、更新世段丘の再調査も今後重要になってくるだろう。

謝辞 現地調査において、広島大学教育学部学生（当時）の永井亜沙香さんに協力していただいた。記して謝意を表します。

文 献

- 吾妻 崇・太田陽子・石川元彦・谷口 薫（2005）御前崎周辺の第四紀後期地殻変動に関する資料と考察。第四紀研究，44，169-176。
- 藤原 治・平川一臣・入月俊明・長谷川四郎・内田淳一・長谷義隆・阿部恒平・春木あゆみ・三瓶良和（2008）静岡県中部御前崎の地層と地形が示す完新世の地殻変動。日本第四紀学会講演要旨集，38，26-27。
- Hughen, K.A., Baillie, M.G.L., Bard, E., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2004)

- Marine04 marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1059-1086.
- 地震調査研究推進本部 (2001) 南海トラフの地震の長期評価. 26pp.
- 河角 廣 (1956) 昭和二十一年十二月二十一日南海大地震当時及びその後に起った四国地方地盤変動の実態, 四国地方総合開発審議会, 3-16.
- 茅根 創・山室真澄・松本英二 (1987) 房総半島南東岸における旧汀線の指標としてのヤッコカンザシ. *第四紀研究*, 26, 47-57.
- 小松原純子・藤原 治・鎌滝孝信 (2006) 南海・駿河および相模トラフ沿岸域における津波堆積物. *歴史地震*, 21, 93-109.
- 前杵英明 (1988 a) 室戸半島の完新世地殻変動. *地理学評論*, 61A, 747-769.
- 前杵英明 (1988 b) 足摺岬周辺の離水波食地形と完新世地殻変動. *地理科学*, 43, 231-240.
- 前杵英明 (1999) 室戸岬の最近数千年間の隆起様式から推定される新たな南海地震像. *月刊地球* / 号外, 24, 76-80.
- 前杵英明 (2001) 隆起付着生物の AMS¹⁴C 年代からみた室戸岬の地震性隆起に関する再検討. *地学雑誌*, 110, 479-490.
- 前杵英明・坪野賢一郎 (1990) 紀伊半島南部の完新世地殻変動. *地学雑誌*, 99, 349-369.
- 三浦知之・梶原 武 (1983) カンザシゴカイ類の生態学的研究. *日本ベントス研究会誌*, 25, 40-45.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1029-1058.
- 宍倉正展・越後智雄・前杵英明・石山達也・永井亜沙香 (2008) 南海トラフ沿いに起きた歴史地震に伴う隆起を記録した紀伊半島南部沿岸の生物遺骸群集. *歴史地震*, 23, 21-26.
- 杉山雄一 (1992) 西南日本前弧域及び瀬戸内区のネオテクトニクス. *地質学論集*, 40, 219-233.
- 吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子 (1964) 土佐湾北東岸の海成段丘と地殻変動. *地理学評論*, 37, 627-648.
- Yoneda, M., Kitagawa, H., van der Plicht, J., Uchida, M., Tanaka, A., Uehiro, T., Shibata, Y., Morita, M., Ohno, T. (2000) Pre-bomb marine reservoir ages in the western north Pacific: preliminary result on Kyoto University collection. *Nucl. Instr. and Meth.*, B 172, 377-381.
- 米倉伸之 (1968) 紀伊半島南部の海岸段丘と地殻変動. *地学雑誌*, 77, 1-23.
- 渡邊偉夫 (1998) 日本被害津波総覧「第2版」. 東京大学出版会. 238pp.
- (受付: 2008年9月22日, 受理: 2008年10月21日)

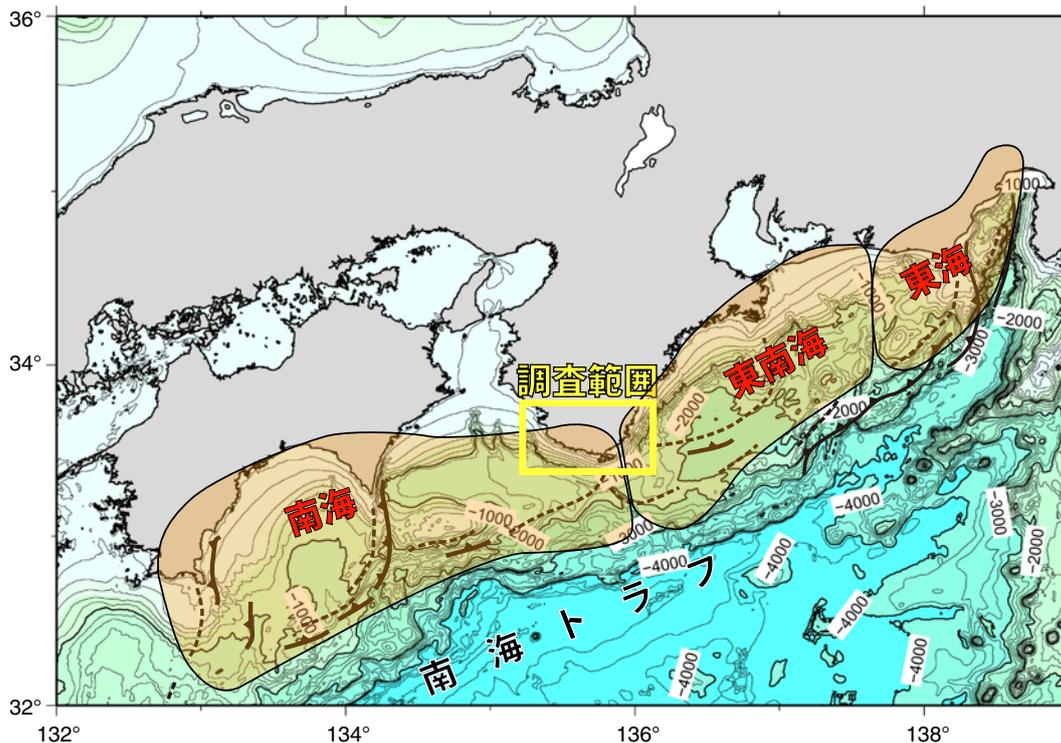
第1表. ^{14}C 年代測定結果. 試料はすべてヤッコカンザシ
(*Pomatoleios kraussii*) の石灰殻を用いた.

Table 1. Radiocarbon dating results.

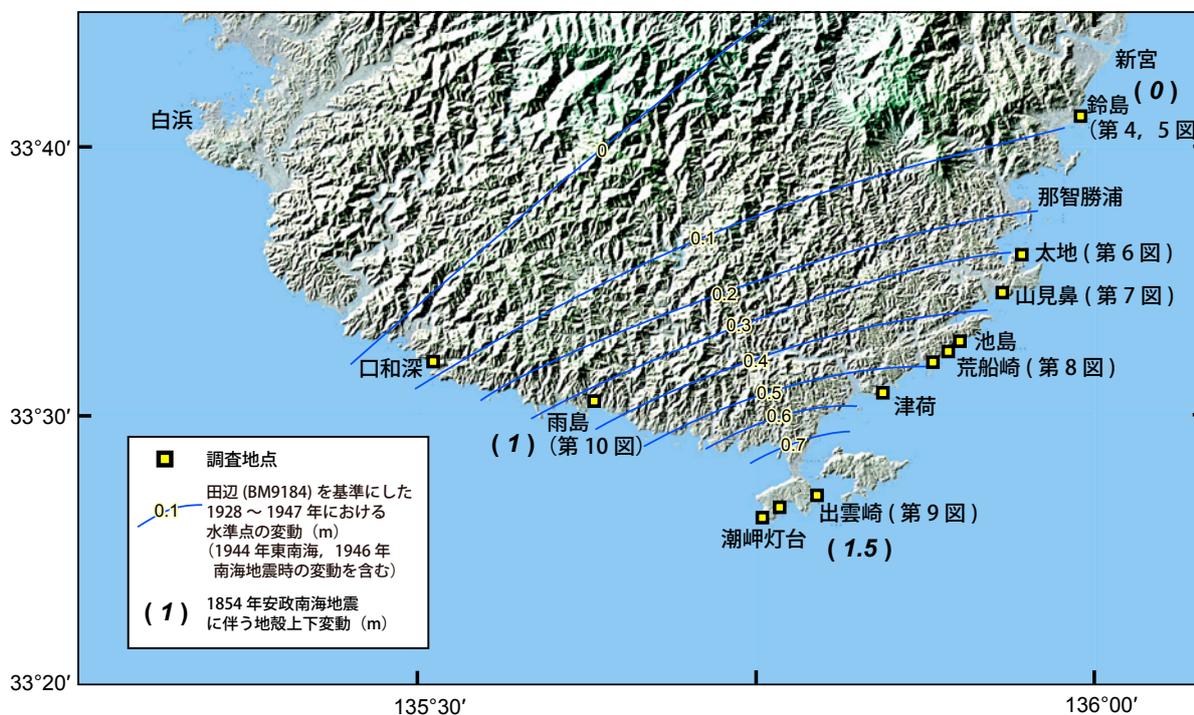
location	assemblage	sampling position	altitude (m)	$\delta^{13}\text{C}$	conventional ^{14}C age (yr BP)	calendar age 2σ ($\Delta R = -7$) (cal yr BP)	lab. Code
Suzushima	I	top surface side	3.72	3.81 ± 0.13	4833 ± 24	5258-5035	PLD-6815
		surface side	2.77	3.03 ± 0.15	4505 ± 24	4810-4616	PLD-6816
		layer wall side	2.64	0.01 ± 0.17	4799 ± 26	5230-4971	PLD-9567
		layer surface side	2.64	0.95 ± 0.13	4357 ± 26	4592-4411	PLD-9566
	II	surface side	1.82	2.37 ± 0.15	2319 ± 21	1978-1865	PLD-6817
		layer wall side	1.75	0.50 ± 0.11	2497 ± 23	2286-2093	PLD-9572
		layer	1.75	1.58 ± 0.11	2417 ± 22	2139-1982	PLD-9571
		layer	1.75	1.37 ± 0.16	2280 ± 22	1973-1823	PLD-9570
		layer	1.75	0.78 ± 0.15	2227 ± 23	1917-1753	PLD-9569
		layer surface side	1.75	1.20 ± 0.12	2088 ± 22	1767-1584	PLD-9568
		bottom surface side	0.70	2.17 ± 0.11	1670 ± 22	1285-1174 (AD665-776)	PLD-9573
Taiji	I	surface side	3.43	1.70 ± 0.20	5000 ± 27	5441-5290	PLD-9574
	II	surface side	2.53	1.73 ± 0.16	2878 ± 25	2736-2556	PLD-9575
		surface side	2.84	-0.36 ± 0.14	2207 ± 22	1884-1726	PLD-7440
Yamamibana	IV	layer wall side	0.55	2.16 ± 0.17	938 ± 20	606-500 (AD1344-1450)	PLD-8311
		layer	0.55	0.71 ± 0.20	776 ± 20	486-357 (99.3%) 342-337 (0.7%) (AD1464-1593, AD1608-1613)	PLD-8312
		layer	0.55	-0.49 ± 0.20	705 ± 20	422-322 (AD1528-1628)	PLD-8313
		layer surface side	0.55	0.76 ± 0.19	517 ± 19	251-65 (AD1699-1885)	PLD-8314

第1表. つづき.
Table 1. Continued.

location	assemblage	sampling position	altitude (m)	$\delta^{13}\text{C}$	conventional ^{14}C age (yr BP)	calendar age 2σ ($\Delta R = -7$) (cal yr BP)	lab. Code
Ikeshima	I	surface side	3.00	3.57 ± 0.12	4856 ± 24	5274-5055	PLD-6818
	III	surface side	1.89	3.85 ± 0.11	1935 ± 21	1559-1402	PLD-6819
		surface side	1.32	2.66 ± 0.11	1958 ± 21	1598-1426	PLD-6820
	IV	surface side	0.61	2.00 ± 0.17	568 ± 19	271-134 (AD 1679-1816)	PLD-6101
		surface side	0.49	3.10 ± 0.12	512 ± 19	249-69 (AD 1701-1891)	PLD-6821
		surface side	0.30	1.49 ± 0.12	387 ± 22	invalid for calibration	PLD-6822
Arafunezaki	II	top surface side	2.98	0.81 ± 0.20	2197 ± 22	1873-1718	PLD-7436
		layer wall side	2.86	1.60 ± 0.12	3066 ± 24	2922-2759	PLD-9577
		layer wall side	2.85	2.07 ± 0.12	2994 ± 23	2837-2720	PLD-9578
		layer surface side	2.94	1.29 ± 0.15	2185 ± 22	1862-1709	PLD-9576
		layer (bottom)	2.24	2.76 ± 0.15	2685 ± 23	2468-2315	PLD-9580
		layer (bottom)	2.24	2.11 ± 0.11	2271 ± 23	1965-1914	PLD-9579
Izumozaki	IV		1.31	1.17 ± 0.29	570 ± 21	277-137 (AD 1673-1813)	PLD-8315
			1.05	1.57 ± 0.13	562 ± 19	274-138 (AD 1679-1816)	PLD-6100
Shionomisaki	I	surface side	2.63	0.99 ± 0.18	4548 ± 25	4839-4673 (99.7%) 4667-4663 (0.03%)	PLD-7437
		surface side	2.43	5.11 ± 0.11	4397 ± 23	4676-4664 (1.4%) 4654-4444 (98.6%)	PLD-6824
	III	surface side	1.49	2.88 ± 0.11	956 ± 19	AD 1335-1439	PLD-6823
Ameshima	I	layer wall side	2.62	1.73 ± 0.13	4760 ± 26	5194-5150 (4.7%) 5142-4895 (95.3%)	PLD-9583
	II	layer surface side	2.62	1.46 ± 0.34	2930 ± 27	2775-2667	PLD-9582
	III	surface side	1.35	1.95 ± 0.15	1689 ± 22	1300-1185 (AD 650-765)	PLD-9584
Kuchiwabuka	II	surface side	2.75	0.07 ± 0.23	2281 ± 23	1975-1823	PLD-7438
	III	surface side	1.38	-0.15 ± 0.2	1485 ± 22	1122-959 (AD 828-991)	PLD-7439

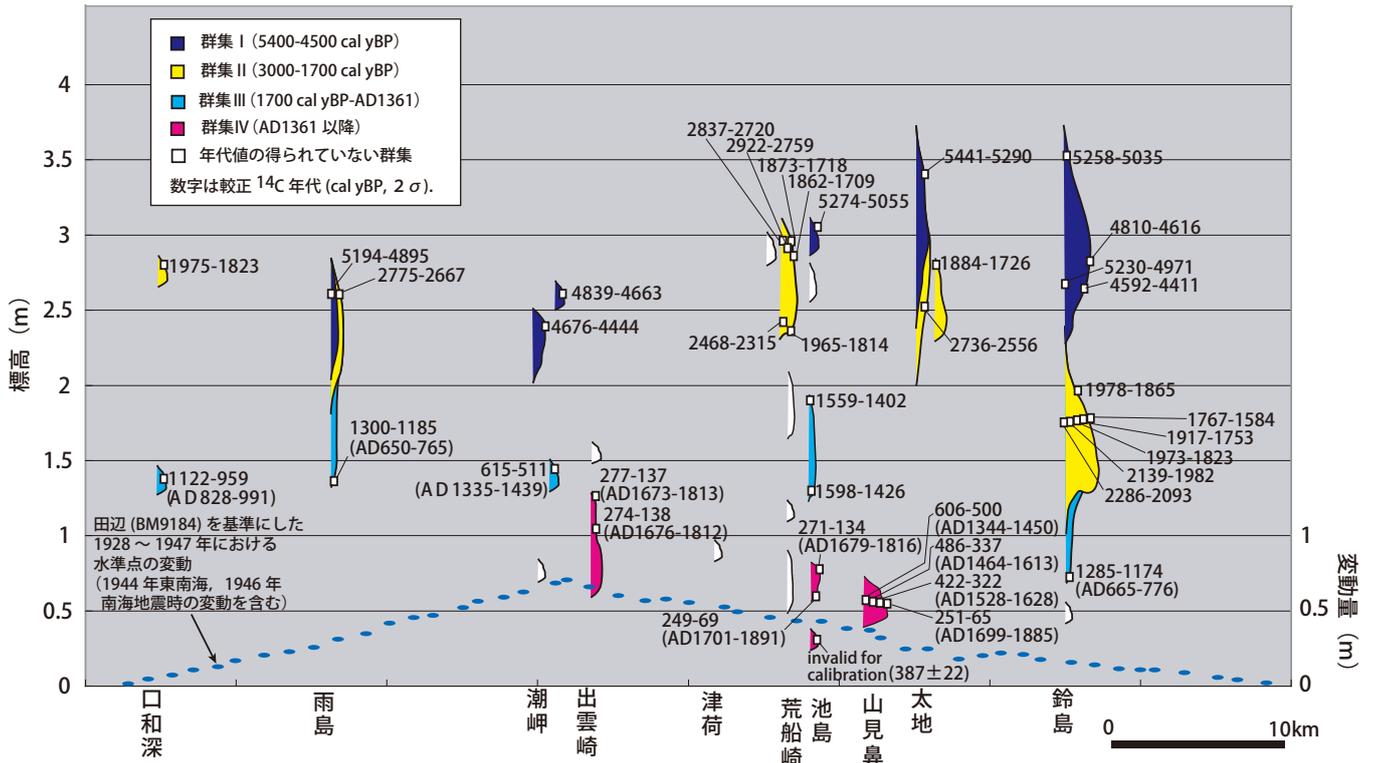


第1図. 南海トラフ沿いの地震セグメントと調査地域的位置. 海底の活構造は杉山(1992)に基づく.
 Fig. 1. Earthquake segment along the Nankai Trough and location of survey area.



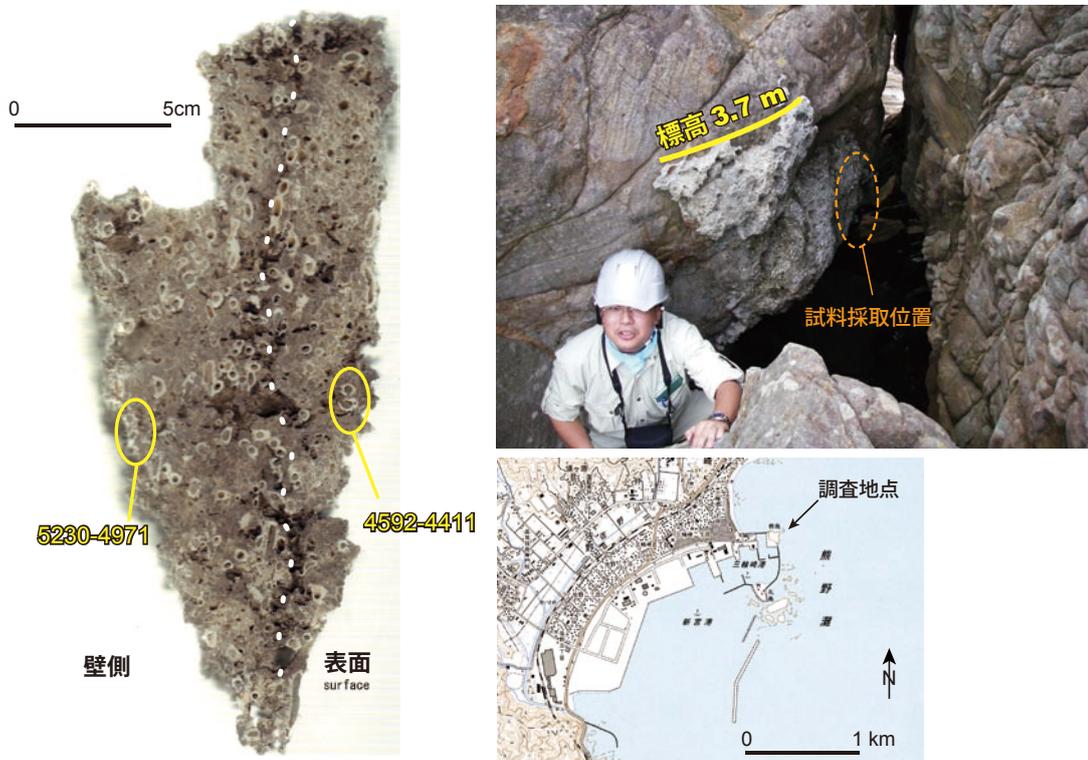
第2図. 調査地点の位置と1854年安政南海地震時および1946年昭和南海地震時の地殻変動量. 地形陰影は国土地理院発行50mメッシュ数値地図を使用. 1854年安政南海地震時の地殻変動量は河角(1956), 1928~1947年における水準点変動量は米倉(1968)にそれぞれ基づく.

Fig. 2. Index map and location of survey points, and amount of coseismic vertical displacement associated with the 1854 Ansei and the 1946 Showa Nankai earthquakes. Relief map is made by using 50 mesh digital elevation model published by Geographical Survey Institute. Amount of coseismic vertical displacements of the 1854 Ansei earthquake and land level change deduced from re-leveling of benchmarks during 1928-1947 are from Kawasumi (1956) and Yonekura (1968) respectively.



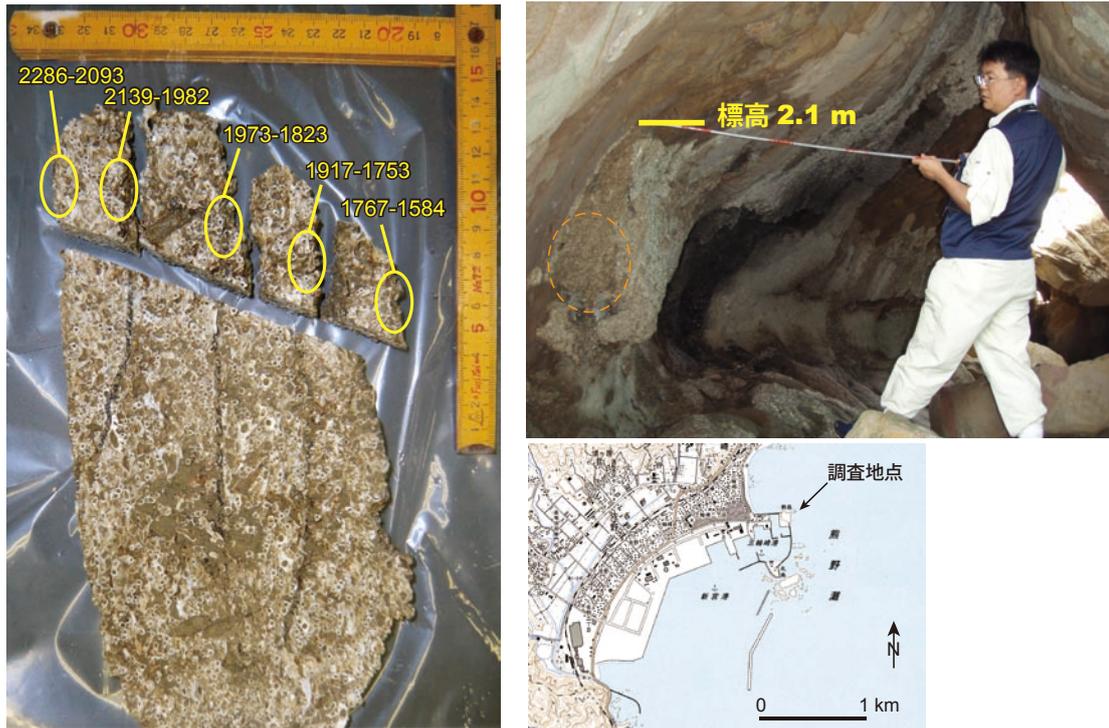
第3図. 海岸沿いに投影した生物遺骸群集の高度分布と年代, および田辺 (BM9184) を基準にした1928~1947年における水準点変動量.

Fig. 3. Height distribution and ages of uplifted sessile assemblage along the southern coast of the Kii Peninsula, and land level change fixed to Tanabe (BM9184), deduced from re-leveling of benchmarks during 1928-1947.



第4図. 鈴島における群集Iの試料採取位置と断面. 断面横の数字は較正¹⁴C年代値 (cal yBP). 国土地理院発行 1/25,000 地形図「新宮」使用.

Fig. 4. Sampling point and cross-section of the assemblage I in Suzushima.



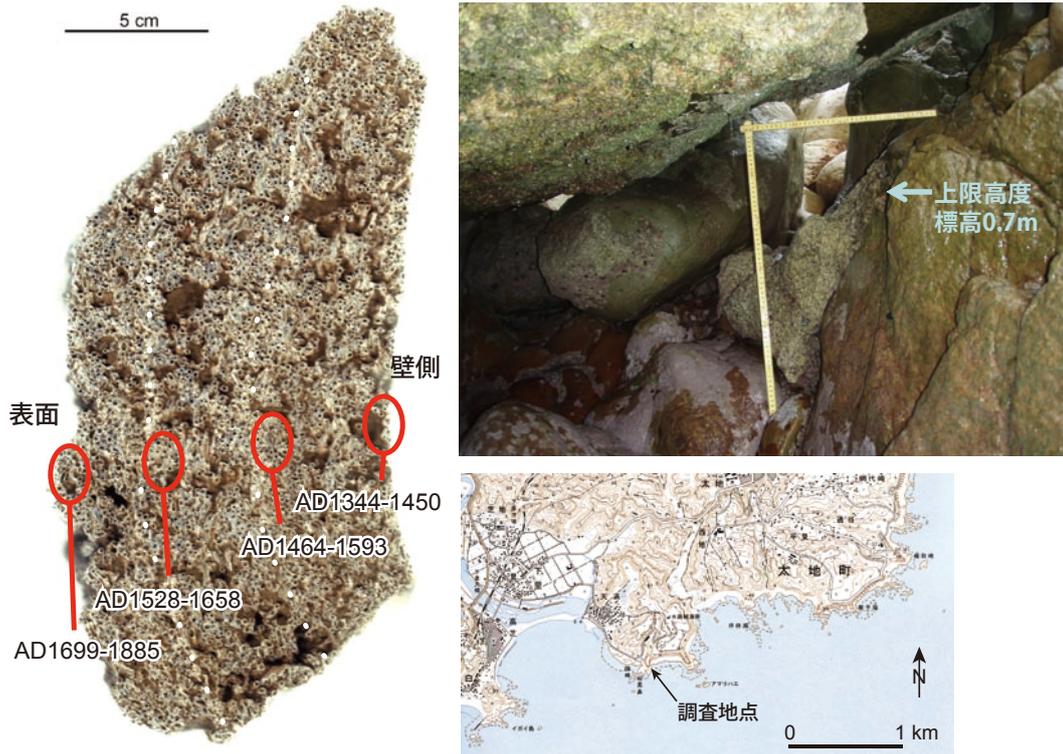
第5図. 鈴島における群集IIの試料採取位置と断面. 断面横の数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP). 国土地理院発行 1/25,000 地形図「新宮」使用.

Fig. 5. Sampling point and cross-section of the assemblage II in Suzushima.

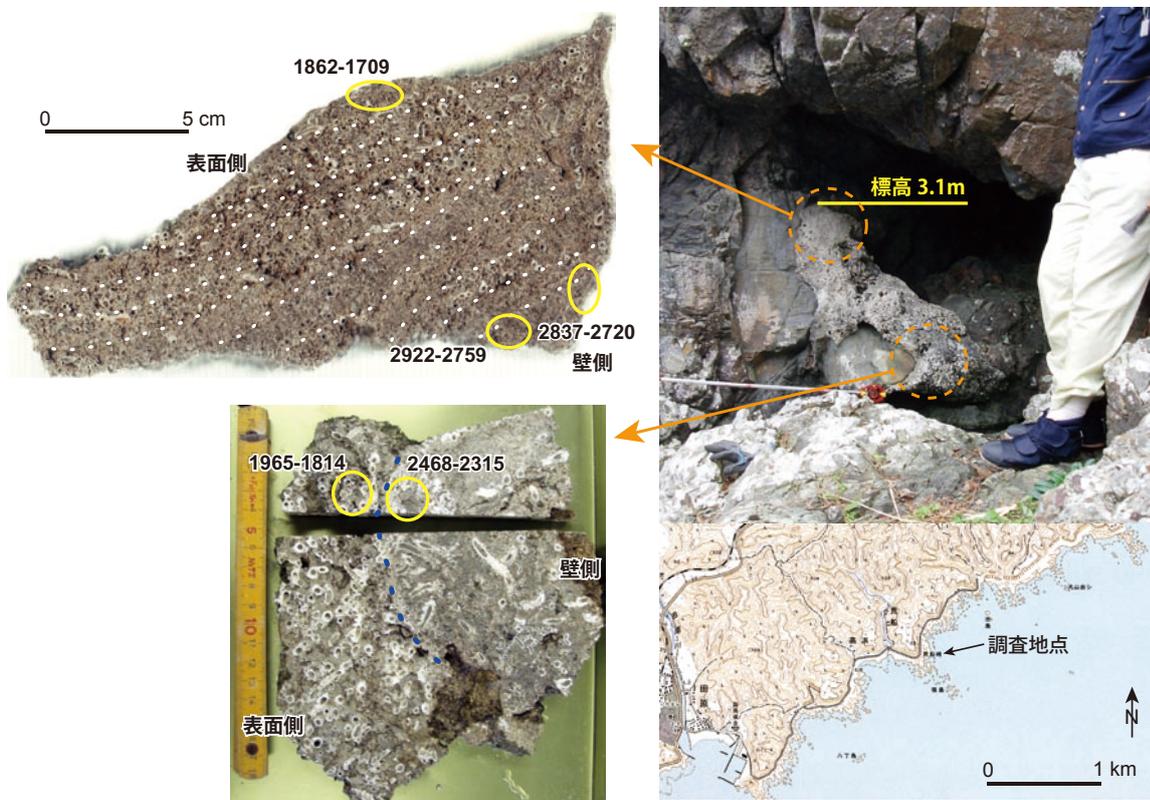


第6図. 太地における群集IおよびIIの試料採取位置. 数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP). 国土地理院発行 1/25,000 地形図「紀伊勝浦」使用.

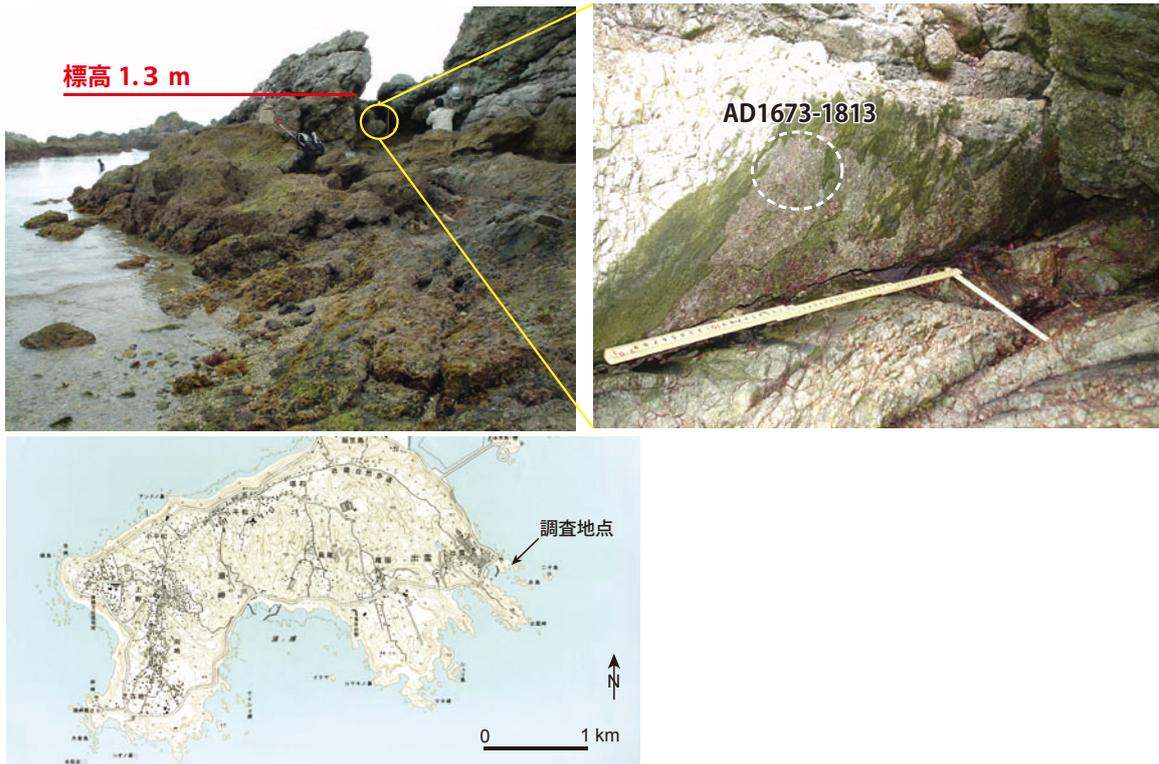
Fig. 6. Sampling points of the assemblage I and II in Taiji-cho.



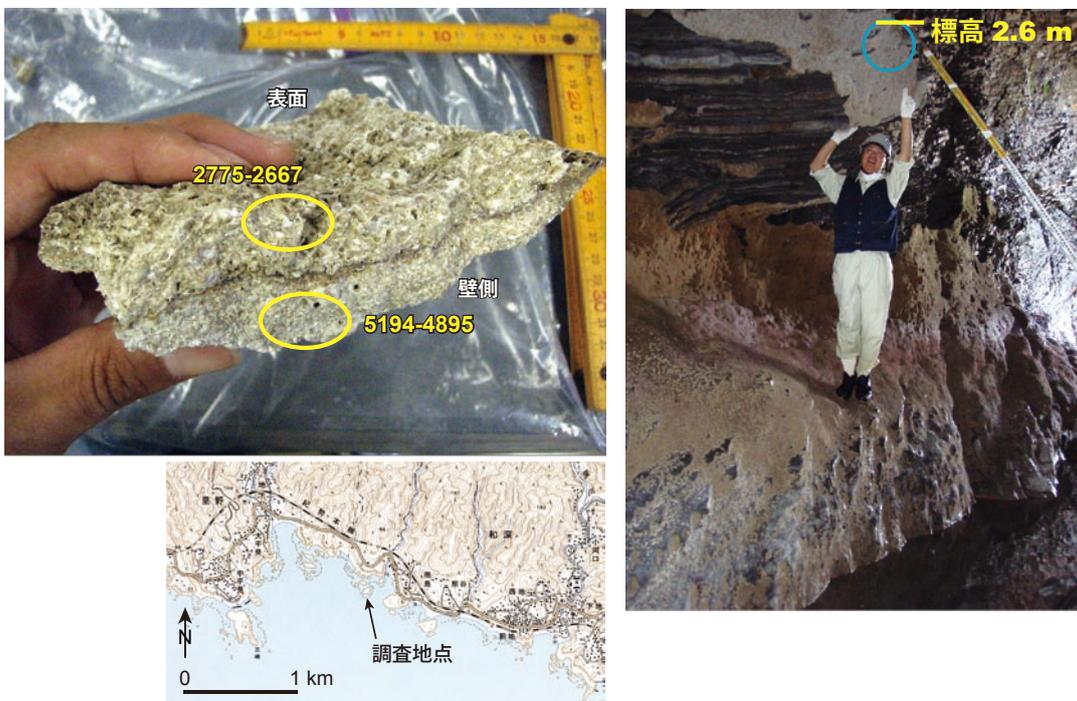
第7図. 山見鼻における群集Ⅳの試料採取位置と断面. 断面横の数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP). 国土地理院発行 1/25,000 地形図「紀伊勝浦」使用.
 Fig. 7. Sampling point and cross-section of the assemblage IV in Yamamibana.



第8図. 荒船崎における群集Ⅱの試料採取位置と断面. 断面横の数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP). 国土地理院発行 1/25,000 地形図「下里」使用.
 Fig. 8. Sampling point and cross-section of the assemblage II in Arafunezaki.



第9図. 出雲崎における群集IVの試料採取位置. 横の数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP).
国土地理院発行 1/25,000 地形図「串本」使用.
Fig. 9. Sampling point of the assemblage IV in Izumozaki.



第10図. 雨島における群集IおよびIIの試料採取位置と断面. 断面横の数字は較正 ^{14}C 年代値 (cal yBP).
国土地理院発行 1/25,000 地形図「田並」使用.
Fig. 10. Sampling point and cross-section of the assemblage I and II in Ameshima.