

## 変動地形からみた相模トラフにおけるプレート間地震サイクル

穴倉 正 展\*

産業技術総合研究所・活断層研究センター

### Cycle of Interplate Earthquake Along the Sagami Trough, Deduced from Tectonic Geomorphology

Masanobu Shishikura\*

Active Fault Research Center, GSJ/AIST

#### Abstract

A tectonic geomorphological study is one of the best methods of evaluating the timing and the crustal deformation of pre-historic earthquake. To reveal the cycle of interplate earthquakes along the Sagami Trough, I investigated the emerged shoreline topography and the fossilized sessile assemblages in the Miura Peninsula and the Boso Peninsula. The distribution pattern of coseismic vertical displacement during the 1703 Genroku Kanto Earthquake inferred from the height distribution of the paleo-shoreline suggests that the fault source model consists of a dual fault system of the Fault A and B. Fault A is also the source of the 1923 Taisho Kanto Earthquake. The geometry and ages of the emerged shoreline topography divided into several levels indicate that the characteristic earthquake generated from Fault A has occurred about every 400 years. One of several events, it is accompanied with a slip of Fault B, which has a recurrence interval of 2000-2700 years.

**Key words:** tectonic geomorphology, paleo-shoreline, recurrence interval, Sagami Trough, Kanto Earthquake

#### 1. はじめに

100年から $10^5$ 年オーダーの時間スケールでの応力の蓄積・解放過程を議論する上で、変動地形学的アプローチは最も有効な手段の一つである。特に活断層から発生する地震は、再来間隔が $10^3$ 年オーダーであることが多く、変動地形から多くの情報を得ることができる。また、沈み込み帯で発生するプレート間地震は、内陸活断層より一桁小さいオーダーの再来間隔をもつことから、変動地形の他に、歴史史料や最近の器械観測データ等の情報を併せて考慮することで、より詳細な地震サイクルを明らかにすることができる。例えば、南海トラフ沿いの東南海、南海地震は、豊富な史料の記録から、発生間隔が平均114年と推定されている(寒川, 1997; 宇佐美, 2003など)。前回の地震は1944年および1946年に発生したが、その応力解放量が比較的小さかったことから、次の地震は平均間隔より早く発生すると考えられている。

一方、南海トラフと同様に、フィリピン海プレートが沈み込む相模トラフ沿いでは、1923年大正関東地震(M 7.9)が発生しているが、それ以外に歴史的に知られるプレート間地震は、1703年元禄関東地震(M 8.2)しかなく(Fig. 1)、史料からみた繰り返し性は明確にはなっていない。しかし、関東地震が過去から繰り返し発生してきたであろうという考えは、沼段丘など地形的証拠を基に古くから議論されてきた(渡辺, 1926; Sugimura and Naruse, 1954, 1955など)。関東地震の再来間隔は、大正と元禄の間で220年であることから、200~300年程度という意見が多く(石橋, 1977など)、最近のGPSデータによるバックスリップモデルから推定された再来間隔も200~400年である(鷺谷, 1998)。しかし、変動地形から見積もられた再来間隔は、これまで松田(1985)が平均800年、熊本(1999)が500~600年と比較的長く、地球物理学的推定と変動地形学的推定の間でギャップが

\* e-mail: m.shishikura@aist.go.jp (〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7)

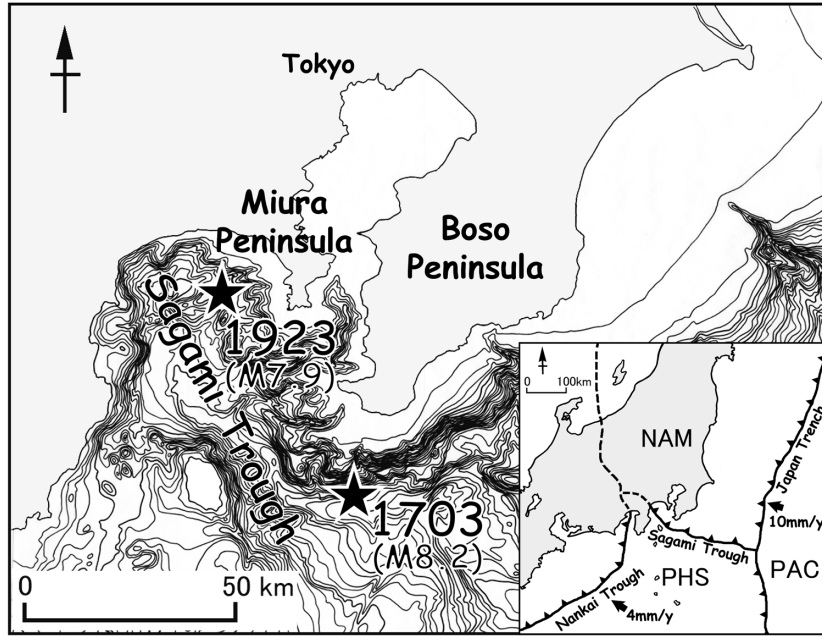


Fig. 1. Epicenters of the Kanto Earthquakes along the Sagami Trough. Locations of the epicenters are based on Utsu (1999). Contour interval of bathymetric chart is 100 m.

あった。従来の変動地形学的な推定方法の問題点として、元禄関東地震時の地殻変動が正確に捉えられていなかったことや、過去に繰り返し発生した個々のイベントを全て抽出できるほどの解像度がなかったということがあげられる。

これらの問題を解決するため、筆者は房総半島・三浦半島の沿岸に発達する離水海岸地形や生物化石の詳細な調査を行った。本稿では、これまでに得られた従来よりも高精度のデータを紹介する。まず、沿岸の隆起の証拠であるかつての海面の指標について、大正関東地震を例に説明し、それをを用いて元禄関東地震時の地殻上下変動とその断層モデルについて述べる。次に、同様にして地形・地質に記録された過去のイベントを検出し、その年代から、関東地震の繰り返し性について検討する。

## 2. 1923年大正関東地震に伴う地殻変動と旧汀線指標

岩石海岸では、潮間帯付近に波食棚(wave-cut bench)と呼ばれる平坦な地形が形成されている。沿岸で地殻の隆起が生じると、これらは離水し、常に海面上に露出した状態になる。大正関東地震においても房総半島や三浦半島の沿岸で浅海底の離水現象が生じた(山崎, 1925)。この離水波食棚は大正ベンチと呼ばれている。陸地測量部(1926)やMiyabe(1931)による測地に基づいた地殻変動では、房総半島南部から三浦半島、大磯丘陵南縁にいたる地域で最大約2mの隆起があったことが明らか

となっている(Fig. 2)。大正ベンチの分布高度は海面からの隆起量を反映しており、例えば房総半島では南端で最も高く、平均海面上2m付近に分布し、北東へ行くにしたがって低くなる傾向がみられる。したがって、このようなかつての海面を示す地形をたよりに、その高度を調べれば、過去の地震に伴う地殻変動を評価でき、さらに年代が明らかになれば過去のイベントの履歴を知ることができる。

地形ばかりではなく、潮間帯に生息する生物の化石も非常に有効な過去の海面指示者(旧汀線指標)である。特にゴカイの仲間であるヤッコカンザシ(*Pomatoleios Kraussii*)は、中等潮位付近で岩礁に石灰質の殻を作って固着し、密集して生息することから、旧汀線指標として最適である(茅根ほか, 1987)。大正関東地震の際に隆起し、化石化したヤッコカンザシは、現在でも岩礁でよく観察することができる。その高度分布は大正ベンチと同様に、測地に基づく隆起量と調和的である。

## 3. 1703年元禄関東地震に伴う地殻変動

元禄関東地震は、史料に記載された被害の状況などからみて、大正関東地震と同様に相模トラフ沿いを震源とするプレート間地震であったと考えられている(宇佐美ほか, 1977など)。地殻の隆起に伴う浅海底の離水現象も古文書に記載されているが、正確な地殻変動量とその分布は、測地記録のない時代であったため不明である。

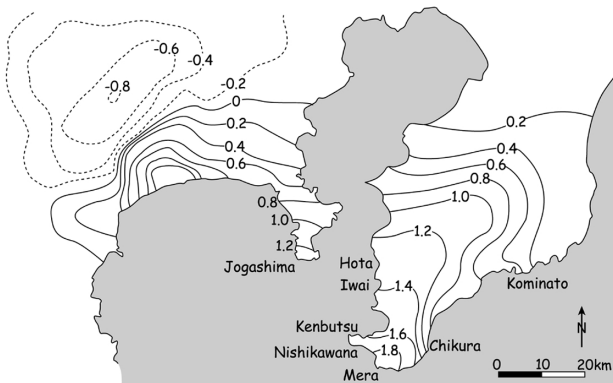


Fig. 2. Coseismic vertical displacement during the 1923 Taisho Kanto Earthquake, based on a re-leveling of benchmarks. Contours are in meters. Compiled from Geophysical Survey Institute (1926) and Miyabe (1931).

そこで旧汀線指標の高度や史料の解析によって推定することになる。

### 3-1 三浦半島における地殻上下変動

三浦半島沿岸では、化石ヤッコカンザシ群集が2つのレベルで観察され、分布高度は低位のものが平均海面上1.0~1.6 m、高位のものが2.0~2.6 mである (Fig. 3)。低位のものは前述した大正関東地震時に離水したものである。高位のものはこれまで漠然と元禄関東地震に関連していると考えられていた (西畑ほか, 1988)。しかし、史料や年代の証拠が無く、根拠に乏しかった。そこで AMS による  $^{14}\text{C}$  年代測定を行ったところ、690~750 yr BP という年代が得られた (宍倉・越後, 2001 a)。また、AD 1923 に死滅したと考えられる低位の化石ヤッコカンザシの  $^{14}\text{C}$  年代を基に、海洋リザーバー年代の地域差を示す  $\Delta R$  の値を評価したところ、 $\Delta R = 159 \pm 21$  となった (宍倉, 2003)。これにより、高位の化石ヤッコカンザシの較正暦年は AD1663~1872 となる。誤差の幅が大きい、AD1663 以降のイベントを示していることは確かである。江戸時代以降の大地震は文書類にほぼもれなく記録されていると考えられるが、三浦半島に隆起を伴うような規模、震源をもつ地震は AD1703 の元禄関東地震以外に見当たらない。したがって高位のヤッコカンザシが元禄関東地震時に隆起、離水した可能性は非常に高いといえる。

この2つのレベルの化石ヤッコカンザシの、高位の高度から低位の高度を差し引いた比高は、元禄関東地震時の隆起量とそれ以降、大正関東地震直前までの220年間の地震間の変動量を合わせたトータルの変動を示す。三浦半島南部のインターサイスミックな変動は、油壺における最近40年間の検潮記録の解析に基づけば、平均

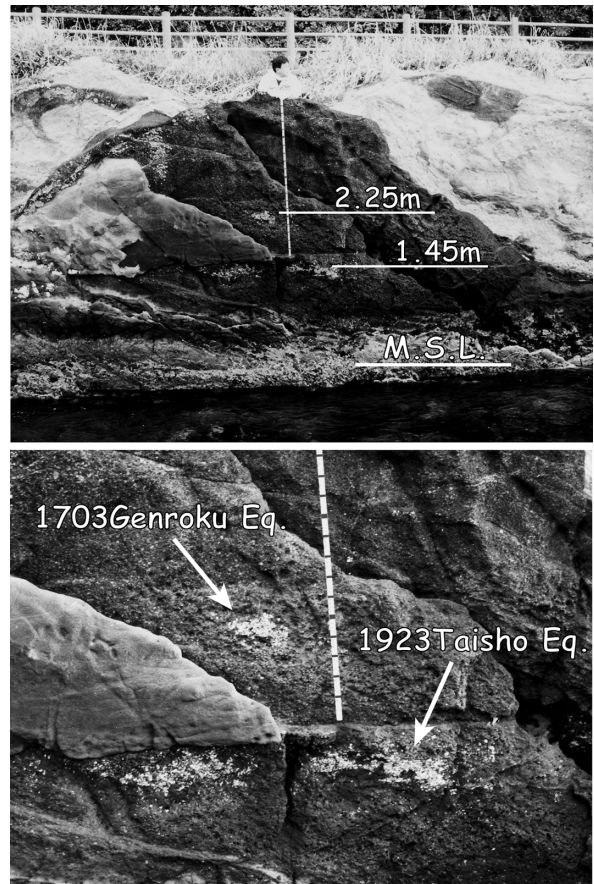


Fig. 3. Two levels of fossilized sessile assemblages (*Pomatoleios Kraussii*) in Jogashima, the Miura Peninsula. M.S.L.: mean sea level. Scale bar is graduated in 10 cm.

3.05 mm/年の速度で沈降していると推定されている (Ozawa *et al.*, 1997)。仮に元禄-大正の地震間でも同様の速度であったとすれば、220年間でおおよそ0.7 m 沈降したことになる。城ヶ島では、2列の化石ヤッコカンザシの比高が0.8 m と観察された (Fig. 3) ことから、元禄関東地震時の隆起量は約1.5 m と計算され、大正関東地震時とはほぼ同じであったと推定できる。三浦半島沿岸の他の各地点でも隆起量を推定したところ、いずれも1.0~1.5 m で、大正関東地震と同様に北へやや傾動したことが明らかになった (宍倉・越後, 2001 a)。このほか、離水波食棚も2段発達しており、化石ヤッコカンザシの高度分布と調和的で、2回の離水イベントがほぼ同じ隆起量であったことを示す。

以上の結果から、三浦半島は元禄関東地震と大正関東地震でほぼ同じ地殻変動を伴ったと結論づけられる。

### 3-2 房総半島における地殻上下変動

房総半島では、松田ほか (1974) が沿岸に分布する最低位の段丘面 (大正ベンチを除く) について、それが元

禄関東地震の際に離水して形成された段丘（元禄段丘と呼ばれる）であるかどうかを古い寺院・神社の有無などから検討し、その旧汀線高度を基に当時の変動量を見積もった。その結果、南端部では大正関東地震の倍以上の隆起量であったことが明らかになっている。館山から千倉にかけての沿岸における元禄段丘は、地形的に非常に明瞭である。幅は最大で数 100 m あり、連続性もよく、分布高度が高いことから、松田ほか（1974）が指摘するように大正関東地震時よりも隆起が大きかったことを確認することができる（Fig. 4）。しかしながら、館山-千倉より北では、史料の記載と矛盾する点もあり、再検討を要した。

宍倉（1999）は半島南西部の保田低地において、松田ほか（1974）の認定した元禄段丘が、被覆層の年代や歴史的遺跡の分布からみて、元禄関東地震以前にすでに離水していたことを明らかにした。さらにこの地域では、元禄関東地震前後の海岸線の様子を描いた古絵図を比較することで、沈水現象が生じていることがわかった。また、史料にも地震時の沈水による土地の減少が明確に記載されている（宇佐美ほか，1977）。したがって地形・地質と史料の証拠からみて、当地が元禄関東地震時に沈降したと考えられる。同様に保田以外にも、岩井や小湊において元禄段丘が存在しないことが明らかになった（宍倉，2000）。特に小湊では、保田と同様に沈降した可能性が高い。

房総半島における地震間の平時の変動は、布良における検潮記録から、2.57 mm/年の速度で沈降していると考えられている（Ozawa *et al.*, 1997）。この値に基づき、各地の旧汀線高度から元禄関東地震時の房総半島の地殻上下変動を推定した（Fig. 5）。その結果、大正関東地震時とは大きく異なり、南端付近での約 6 m の隆起と保田、小湊での 1 m 程度の沈降を伴う北への傾動であったこ

とが明らかになった。

### 3-3 元禄関東地震の断層モデル

以上の結果を基に、元禄関東地震の地殻変動分布を説明する震源断層を検討した。ここでは変動崖の可能性のある海底地形沿いに断層のおおよその走向を合わせ、Manshinha and Smylie（1971）に基づいて地殻変動を計算した。

三浦半島周辺では、大正と元禄ではほぼ同じ隆起パターンであることから、基本的に大正関東地震時と同じ断層が動いたと考えられる。そこで、Ando（1974）の大正関東地震のモデルを用い、三浦半島を隆起させる断層を Fault A として設定した（Fig. 6）。傾斜は 30° でスリップ量が 6.7 m である。一方、房総半島では南端部の大きい隆起と保田、小湊の沈降を伴う北への急激な傾動を示すことから、房総半島南東部で低角逆断層が連動したと考えられる。この断層を Fault B として沖合の海底崖沿いに設定した。傾斜は 20° でスリップ量が 12 m である。Matsuda *et al.*（1978）の元禄モデルも房総半島南東部

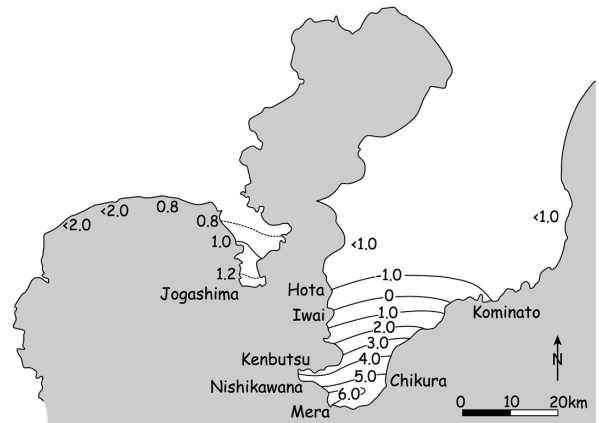


Fig. 5. Coseismic vertical displacement during the 1703 Genroku Kanto Earthquake, deduced from height distribution of paleoshoreline. Contours are in meters.

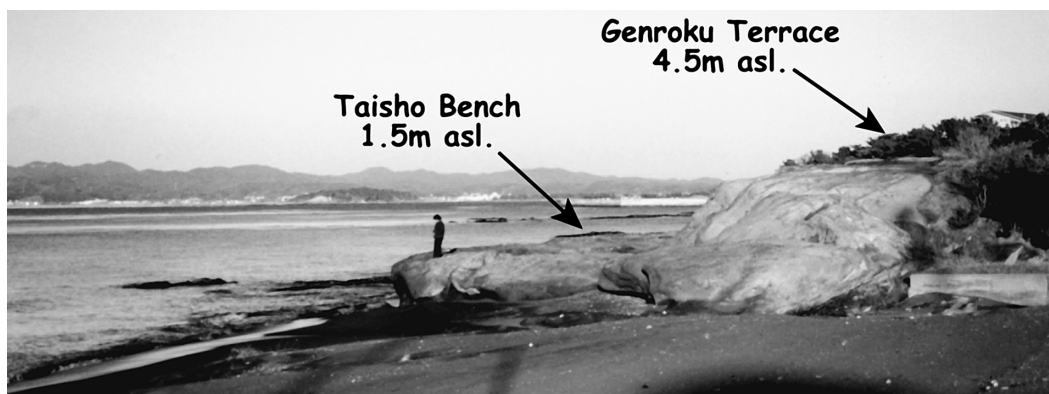


Fig. 4. Two levels of emerged wave-cut benches in Kenbutsu, the Boso Peninsula.

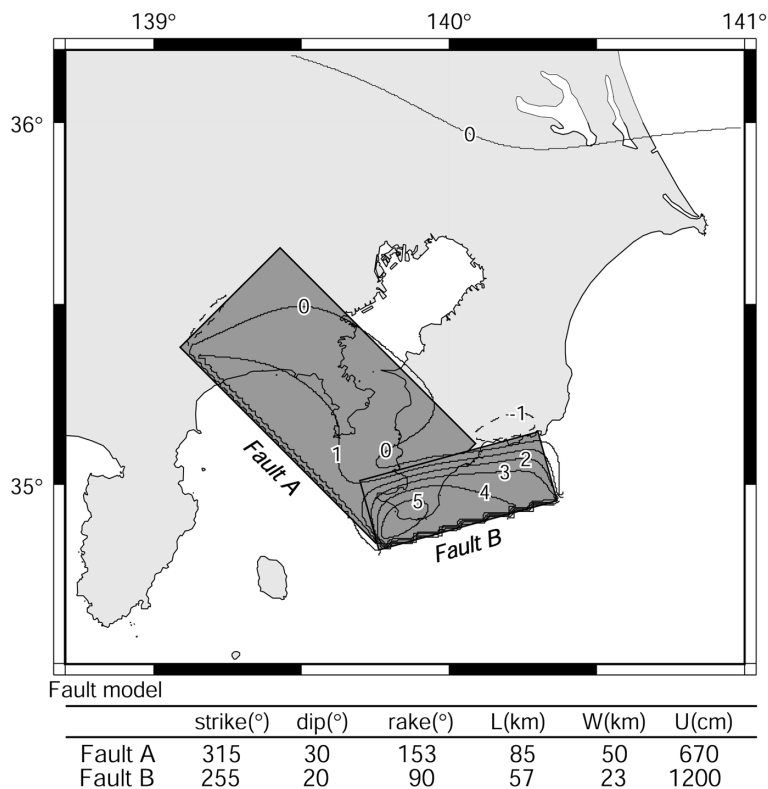


Fig. 6. Fault source model of the 1703 Genroku Kanto Earthquake. Contours are theoretical vertical displacements in meter.

に断層を設定しているが、傾斜が70°と高角であり、大きく異なる。

なお、本モデルはあくまで地殻変動を説明する断層のみを設定しており、津波の再現性については無視している。今後、沿岸の津波の遡上高などを考慮して改訂しなければならないが、詳細は別稿にて論じる予定である。

#### 4. 変動地形に記録された元禄関東地震より前の古地震

三浦半島や房総半島の沿岸には、元禄や大正の地震時に離水した海岸地形や生物化石よりもさらに高位に同様の地形が発達しており、旧汀線高度は場所により標高30 m近くまで達する。これらの成因について、古くはImamura (1928) や渡辺 (1929) が、元禄関東地震や大正関東地震のような地震の繰り返し発生による間欠的隆起の結果、形成されたという考えを示している。以降、基本的にこの考え方は変わっておらず、個々の古地震の認定と解釈について、研究が進められてきた。

##### 4-1 三浦半島における完新世地震性地殻変動

三浦半島では、元禄関東地震より前のイベントに関連した離水海岸地形は、熊木 (1982) により、野比I面～III面と呼ばれる3面の海成段丘が確認されている。各面の離水年代は、高位からそれぞれ6,000 yr BP, 4,600 yr

BP, 3,100 yr BP と推定され、暦年較正により、7,000 cal yr BP, 5,300 cal yr BP, 3,600 cal yr BP となる。しかし、沿岸の地形や生物化石の分布を詳しくみると、これらの段丘面以外にも多くのレベルで隆起海食洞や小段丘が1~1.5 mの比高を持って細かく分布していることが明らかになった(宍倉・越後, 2001 b)。それぞれのレベルの連続性はあまり良くないが、これらは比較的隆起量の小さい離水イベントが間欠的に生じてきたことを示している。すなわち三浦半島では、元禄、大正関東地震と同程度の隆起を伴う地震が過去から繰り返し発生してきたと考えられる。しかし、離水海岸地形のほとんどが岩石侵食性の地形であることから、現在のところ各レベルの離水年代を決定するには至っていない。

##### 4-2 房総半島における完新世地震性地殻変動

房総半島では、元禄関東地震と大正関東地震で地殻上下変動の分布パターンが異なることから、松田ほか (1974) は過去の地震にも元禄型地震、大正型地震の2つのタイプがあるという考えを示した。これは離水海岸地形の分布形態から確認することができる。

房総半島南端部沿岸の完新世海岸段丘は、元禄段丘も含め、4面に大別できる (Fig. 7; Sugimura and Naruse, 1954; Yonekura, 1975; 横田, 1978; 中田ほか, 1980)。

高位の3面が最低位の元禄段丘とほぼ同程度の幅をもち、分布形態も非常によく似ていることから、これらは元禄型地震に伴って離水したと考えられた。その後、茅根・吉川（1986）はこれらの段丘面の境界付近がさらに細かい小崖によって2~3面の小段丘に区分できることを示した。これらの小段丘は大正ベンチと形態が似ていることから、大正型地震に伴う比較的小さい隆起で離水したものと考えられている（Fig. 8）。中田ほか（1980）は、元禄型地震に関連した4面の段丘を高位から沼Ⅰ~Ⅳ面と呼び、多くの<sup>14</sup>C年代資料に基づいて、沼Ⅰ~Ⅲ面の離水年代をそれぞれ沼Ⅰ面: 6,150 yr BP, 沼Ⅱ面: 4,300 yr BP, 沼Ⅲ面: 2,850 yr BPと推定した。その後、

藤原ほか（1999）によって年代較正が検討された結果、沼Ⅰ面: 7,150 cal yr BP, 沼Ⅱ面: 4,950 cal yr BP, 沼Ⅲ面: 2,950 cal yr BPとなった（Fig. 7）。したがって元禄型地震の再来間隔は2,000~2,700年と求められる。一方、大正型地震については、関連する段丘一面一面の分布が狭く、岩石侵食性の地形のため年代試料が乏しいことから、これまでその年代は不明であった。

3-2節で説明した房総半島の元禄関東地震に伴う地殻上下変動（Fig. 5）と、大正関東地震時の変動（Fig. 2）とを比べると、元禄、大正とも隆起した地域（半島南端部）と、元禄で変動がなく、大正で隆起した地域（岩井）、元禄で沈降し、大正で隆起した地域（保田）の3つの地

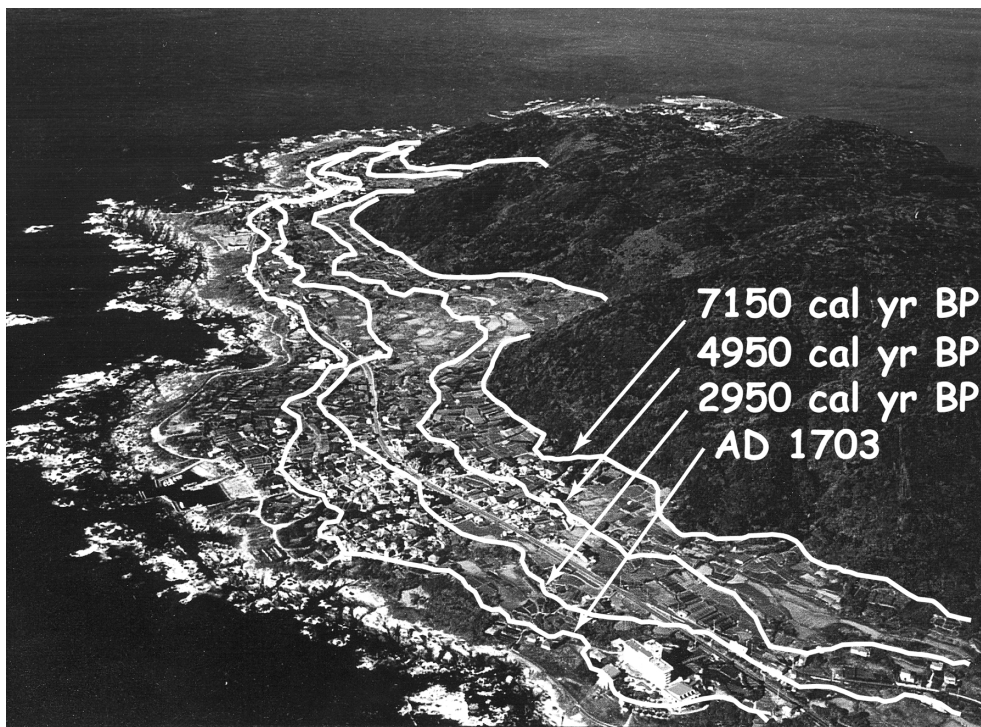


Fig. 7. Paleo-shorelines on Nishikawana, the southernmost part of the Boso Peninsula. Aerial photo contributed by Chiba Historical Material Research Foundation.

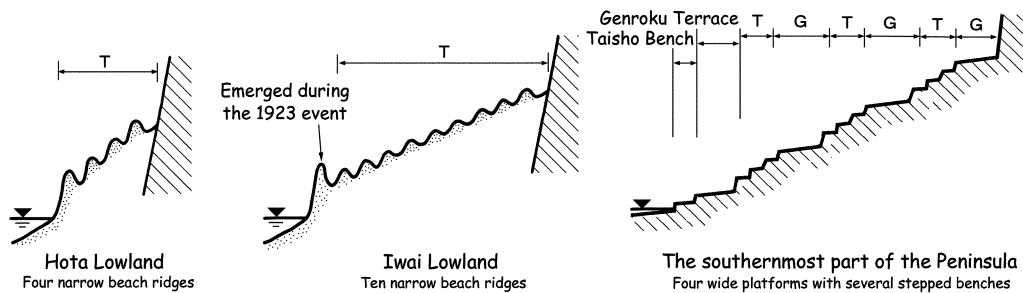


Fig. 8. Schematic geomorphic profiles of Holocene lowlands in the Boso Peninsula. G: emerged area during the Genroku-type event. T: emerged area during repeated Taisho-type events. Modified from Shishikura and Miyauchi (2001).

域が存在することがわかる。この変動パターンの違いは、各地の地形発達に多様性をもたせており、その理解が大正型地震の発生時期、再来間隔を解く鍵となる。

元禄で変動がなく、大正で隆起した岩井低地には、幅100~200 mの離水浜堤が10列発達していることが確認される (Fig. 8)。この地域は大正関東地震時の1.4 mの隆起により浜堤が離水したことが明らかになっており、すなわち10列の離水浜堤は繰り返して生じた大正型地震に伴う隆起によって形成された可能性が高い。元禄で沈降し、大正で隆起した保田低地では、4列の離水浜堤が確認される (Fig. 8)。この地域の離水浜堤も大正型地震に関連していると考えられる。浜堤の数が岩井低地より少ない理由は、大正型地震により浜堤が隆起、離水するものの、元禄型地震により沈降、沈水し、離水浜堤が侵食されてしまうためと考えられる。このような各地における変動パターンの違いは Fig. 9 のように示すことができる。

#### 5. 房総半島岩井低地の離水海岸地形からみた大正型地震の年代

おもに大正型地震の証拠が記録される岩井低地では、離水海岸地形の詳細な調査により、大正型地震の発生時期と再来間隔を知ることができる。前述のとおり、低地

上の微地形は10列に分類される幅狭い浜堤列 (高位からBR-I~Xと呼ぶ) で特徴づけられ、半島南端地域のような明瞭な段丘地形はみられない。最低位のBR-Xは大正関東地震時に離水しており、高位のBR-I~IXもBR-Xとほぼ同じ幅で形態的特徴が似ていることから、浜堤一列一列が、大正関東地震と同様の隆起によって離水したことがわかる。また、10列の浜堤と最高位の旧汀線を離水させたイベントを含め、少なくとも11回の大正型地震を地形から読みとることができる。

各浜堤の離水過程と年代を知るため、ジオスライサーやハンドオーガー掘削、露頭観察を行った (穴倉ほか, 2001)。堤間湿地の典型的な層序は、下位にトラフ斜交ラミナや、やや粗粒の貝殻混じり砂礫などで特徴づけられるステップ~外浜の堆積物が分布し、その上に平行ラミナの卓越した前浜堆積物が堆積する (Fig. 10)。そしてこれらの海浜堆積物を覆って湿地性の腐植物混じりシルト、粘土が分布する。また浜堤では、無層理の礫混じり中砂が下位の腐植層を覆って堆積している様子が観察された。堆積物の<sup>14</sup>C年代や遺跡の立地などから各離水イベントの年代を推定したところ、6,830~6,720 cal yrs BP以降、5,300~5,060 cal yrs BP以前に少なくとも3回、その後さらに少なくとも3回、そして3,300~3,100 cal yrs BPに発生し、以降、2,310~2,230 cal yrs BP以前に

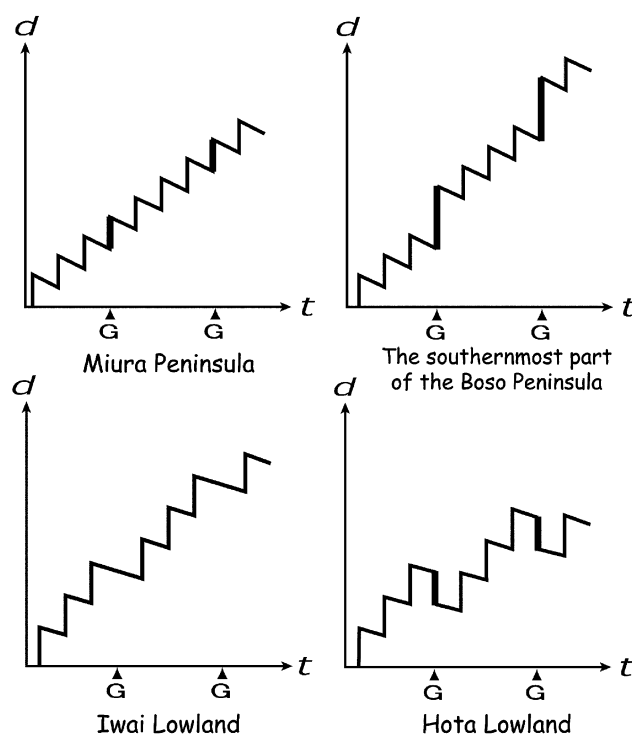


Fig. 9. Seismotectonics model in each area around the Sagami Trough. G: Timing of the Genroku-type Earthquake. d: relative vertical displacement. t: time.

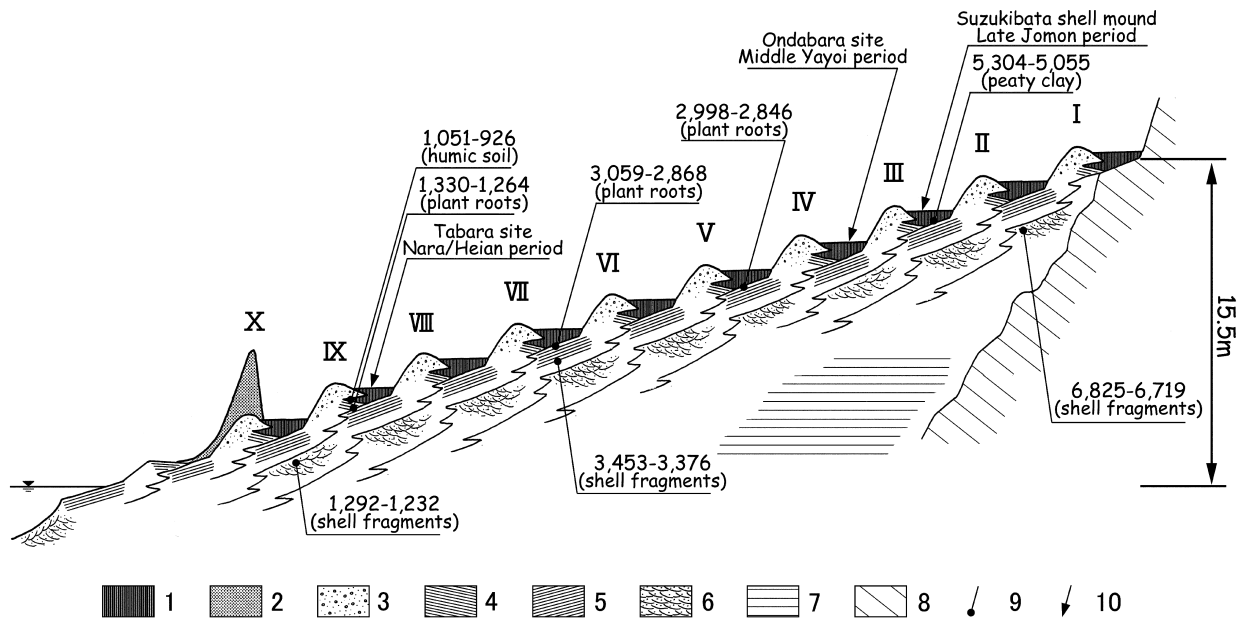


Fig. 10. Schematic cross-section of geology and geomorphology in the Iwai Lowland. 1: terrestrial deposit, 2: aeolian deposit, 3: beach ridge deposit, 4: backshore deposit, 5: foreshore deposit, 6: shoreface deposit, 7: marine clay, 8: bedrock, 9: location of radiocarbon sample (number means cal yrs BP), 10: location of archaeological site. Modified from Shishikura *et al.* (2001).

1回、1,300 cal yrs BP頃、900 cal yrs BP前後にそれぞれ発生したと考えられる。

なお、各イベントにおける地殻上下変動量は、浜堤間の比高が1~2m程度であることから、大正関東地震と同程度と考えられる。しかし、個々の具体的な変動量は、ユースタティックな海面変動の影響などを考慮しなければならないことや、堆積性の海岸では旧汀線指標となる前浜堆積物にある程度の層厚があるため、誤差が大きく、現在のところ明らかではない。

## 6. 関東地震の再来間隔

三浦半島では元禄も大正も同じ断層 (Fault A) の変位によって隆起しており、元禄型や大正型といった区別はなく、同じイベントが繰り返し生じていると言える (Fig. 9)。一方、房総半島では、繰り返し生じた地震の数回に1回の割合 (再来間隔 2,000~2,700年) で半島南東部の低角逆断層 (Fault B) が動き、元禄型と呼ばれる変位が生じたと考えられる。したがって岩井低地の離水浜堤群から検出されたイベントは、Fault Aのみが動いた純大正型と言える地震である (Fig. 9)。つまり、いわゆる関東地震の再来間隔を考える場合、元禄型である沼面群の年代と岩井低地の離水浜堤群の年代を合わせて検討しなければならない。これらの年代と野比面群の年代を基に、各イベントにおける房総半島南端付近の相対的な

隆起量との関係を示したのが Fig. 11 である。点線で囲んだ白抜きボックスは、離水海岸地形の証拠はあるが、年代が明らかでないイベントを示す。隆起量は元禄型と大正型の違いを概念的に描いたものであり、縦軸の長さに絶対的な意味はない。この図によると離水イベントの再来間隔は一定ではなく、3,000~1,300 cal yr BP頃はイベント間の間隔が長かったようにみえる。しかし、この頃は弥生の小海退と呼ばれる最大2m程度のユースタティックな海面の変動があったと考えられている時期と一致する (太田ほか, 1990)。つまり海面低下期に離水した浜堤が、その後の海面の上昇により侵食され、消失したため、イベントの証拠をいくつか見落としている可能性がある。比較的保存の良い5,000~3,000 cal yr BP頃の期間で見ると、再来間隔は平均約400年と見積もられる。1,300 cal yr BP頃以降、元禄関東地震までのイベントで見ても再来間隔は約400年である。

このほか、岩井低地最高位の旧汀線高度 (標高 15.5 m) を大正関東地震時の隆起量 (1.4 m) で成分分析しても同様の平均再来間隔の値が得られる。最高位旧汀線の離水年代を6,800年前頃とすると、当時の海面は現在よりも2~3m程度高かった (Endo *et al.* 1982) ことから、現在残存している地殻隆起の成分は12.5~13.5 mである。地震間の沈降は、前述の布良の沈降速度 (2.57 mm/年) を用いると、6,800年間の累積で17.5 m程度沈降し



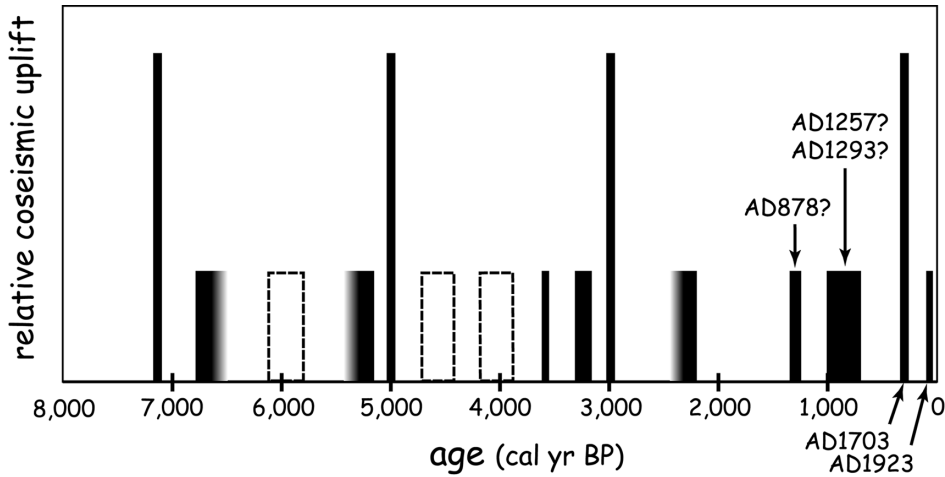


Fig. 11. Timing and relative coseismic uplift of repeated Kanto Earthquakes. Open rectangle enclosed with dotted line means <sup>14</sup>C age samples were not obtained.

たことになる。これらを足し合わせれば、累積の隆起量は20～21 m程度と見積もられ、大正型地震1回あたりの平均隆起量を1.4 mとして除すれば、総イベント回数は14～15回と計算できる。これに6,800年前以降の元禄型地震3回を加えた17～18回が関東地震の回数で、6,800年を除くと、平均再来間隔は380～400年と推定することができる。

ところで、南関東における歴史地震で、岩井低地の最近の離水イベントに関連するものを探すと、1,300 cal yr BP頃のイベントが878年元慶地震、900 cal yr BP前後のイベントは1257年正嘉地震か1293年永仁地震がそれぞれ候補となる。いずれの地震も推定される離水年代と若干のズレを生じているが、今後<sup>14</sup>C年代のデータを充実させることと、海洋リザーバー効果の補正を考慮すれば、適合する可能性がある。また、1293年永仁地震は石橋(1991)が相模トラフ沿いのプレート間地震の可能性を述べているが、878年元慶地震は伊勢原断層の活動との関係が示唆されており(松田ほか, 1988)、まだ議論の余地がある。

### 7. まとめと今後の課題

本研究では、旧汀線高度の調査から元禄関東地震の地殻上下変動を正確に捉え、震源モデルを推定した。その結果、大正関東地震時と同じ断層(Fault A)と、元禄関東地震の時だけ活動した断層(Fault B)の、少なくとも2つの断層で構成されることが明らかになった。相模トラフ沿いでくり返し発生する関東地震は、基本的にFault Aを震源とし、その数回に1回の割合でFault Bが連動する元禄タイプのイベントが起きている。変動地形から実証的に明らかになった関東地震の再来間隔は

400年程度である。

ここでFault Aの1イベントあたりの平均スリップ量をモデルに基づいて7 m程度とすると、平均変位速度は17.5 mm/年と計算され、鷺谷(1998)が示したバックスリッププレート(30 mm/年)より小さい。またFault Bでは、平均再来間隔2,300年、1イベントあたりのスリップ量を平均12 mとすると、平均変位速度は5.2 mm/年とさらに小さく、測地データと矛盾を生じている。今後、データの充実と精度の向上などから、この問題を解決していかなければならない。また、未解明である各イベントにおける変動量の評価も、地殻応力の蓄積・解放過程を解明する上で重要であり、まだいくつかの課題が残されていると言える。

### 謝 辞

東京大学地震研究所の中谷正生氏と松多信尚氏には丁寧な査読をしていただきました。また、断層モデルの計算において、産総研・活断層研究センターの遠田晋次氏にご協力いただきました。東京大学地震研究所の加藤尚之氏には、この論文を投稿する機会を与えていただきました。記して謝意を表します。

### 文 献

Ando, M., 1974, Seismo-tectonics of the 1923 Kanto earthquake, *Jour. Phys. Earth*, 22, 263-277.  
 Endo, K., K. Sekimoto and T. Takano, 1982, Holocene stratigraphy and paleo-environments in the Kanto Plain, in relation to the Jomon Transgression, *Proc. Inst. Natural Sciences, Nihon Univ.*, 21, 37-54.  
 藤原 治・増田富士雄・酒井哲弥・入月俊明・布施圭介, 1999, 房総半島と三浦半島の完新統コアに見られる津波堆積物, *第四紀研究*, 38, 41-58.

- Imamura, A., 1928, On the seismic activity of Kwanto district, *Jour. Astronomy Geophysics*, 5, 127-135.
- 石橋克彦, 1977, 1703年元禄関東地震の震源域と相模湾における大地震の再来周期(第一報), *地震第2輯*, 30, 369-374.
- 石橋克彦, 1991, 1293年永仁鎌倉地震と相模トラフ巨大地震の再来時間, *地震学会講演予稿集*, 1991, 2, 251-251.
- 茅根 創・吉川虎雄, 1986, 房総半島南東岸における現成・離水浸食海岸地形の比較研究, *地理学評論*, 59, 18-36.
- 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.
- 熊木洋太, 1982, 三浦半島の完新世段丘と地殻変動, *国土地理院時報*, 54, 41-49.
- 熊木洋太, 1999, 相模湾周辺の完新世海成段丘と地震テクトニクス, *第四紀研究*, 38, 525-531.
- Mansinha, L. and D. Smylie, 1971, The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 61, 1433-1440.
- 松田時彦, 1985, 大礫型地震について, *月刊地球*, 7, 472-477.
- 松田時彦・太田陽子・安藤雅孝・米倉伸之, 1974, 元禄関東地震(1703年)の地学的研究, 垣見俊弘・鈴木尉元編「関東地方の地震と地殻変動」: 175-192, ラティス.
- Matsuda, T., Y. Ota, M. Ando and N. Yonekura, 1978, Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 89, 1610-1618.
- 松田時彦・由井将雄・松島義章・今永 勇・平田大二・東郷正美・鹿島 薫・松原彰子・中井信之・中村俊夫・松岡数充, 1988, 伊勢原断層(神奈川県)の試錐による地下調査—過去約7,000年間の堆積環境と元慶2年地震の変位—, *東京大学地震研究所彙報*, 63, 2, 145-182.
- Miyabe, N., 1931, On the vertical earth movements in Kwanto districts, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 9, 1-21.
- 中田 高・木庭元晴・今泉俊文・曹 華龍・松本秀明・菅沼健, 1980, 房総半島南部の完新世海成段丘と地殻変動, *地理学評論*, 53, 29-44.
- 西畑正文・山室真澄・茅根 創, 1988, 三浦半島西岸および南岸における旧汀線の指標としてのヤッコカンザシとベンチ, *第四紀研究*, 27, 31-38.
- 太田陽子・海津正倫・松島義章, 1990, 日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題, *第四紀研究*, 29, 31-48.
- Ozawa, S., M. Hashimoto and T. Tada, 1997, Vertical crustal movements in the coastal areas of Japan estimated from tidal observations, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 43, 1-21.
- 陸地測量部, 1926, 関東震災地一帯に於ける土地の隆起及沈下状態, *地震研究所彙報*, 1, 65-68.
- 鷺谷 威, 1998, GPS連続データから推定されるフィリピン海プレート北端部におけるプレート間相互作用とテクトニクス, *地震研究所彙報*, 73, 275-290.
- 寒川 旭, 1997, 揺れる大地—日本列島の地震史, 同朋舎出版, 272頁.
- 穴倉正展, 1999, 房総半島南部保田低地の完新世海岸段丘と地震性地殻変動, *第四紀研究*, 38, 17-28.
- 穴倉正展, 2000, 離水海岸地形からみた1703年元禄関東地震における房総半島の地殻上下変動, *歴史地震*, 16, 113-122.
- 穴倉正展, 2003, 隆起ヤッコカンザシの<sup>14</sup>C年代から推定される三浦半島南部沿岸の海洋リザーバー効果, *日本第四紀学会講演要旨集*, 33, 96-97.
- 穴倉正展・宮内崇裕, 2001, 房総半島沿岸における完新世低地の形成とサイスマテクトニクス, *第四紀研究*, 40, 235-242.
- 穴倉正展・原口 強・宮内崇裕, 2001, 房総半島南西部岩井低地の完新世離水海岸地形からみた大正型関東地震の発生年代と再来周期, *地震第2輯*, 53, 357-372.
- 穴倉正展・越後智雄, 2001a, 1703年元禄関東地震に伴う三浦半島南部の地殻上下変動—離水波食棚・生物遺骸の高度分布からみた検討—, *歴史地震*, 17, 32-38.
- 穴倉正展・越後智雄, 2001b, 離水海岸地形・生物遺骸の高度分布からみた三浦半島南部における完新世地震性地殻変動, *日本第四紀学会講演要旨集*, 31, 28-29.
- Sugimura, A. and Y. Naruse, 1954, Changes in sea level, seismic upheavals, and terraces in the southern Kanto region, Japan (I), *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, 24, 101-113.
- 宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 605頁.
- 宇佐美龍夫・内野美三夫・吉村光敏, 1977, 房総半島南部の元禄地震史料, 62頁, 関東地区災害科学資料センター資料(その9).
- 宇津徳治, 1999, 地震活動総説, 東京大学出版会, 876頁.
- 山崎直方, 1925, 関東地震の地形学的考察, *震災予防調査会報告*, 100乙, 11-54.
- 横田佳代子, 1978, 房総半島南東岸の完新世海岸段丘について, *地理学評論*, 51, 349-364.
- Yonekura, N., 1975, Quaternary tectonic movements in the outer area of Southwest Japan with special reference to seismic crustal deformations, *Bull. Dept. of Geogr. Univ. of Tokyo*, 7, 19-71.
- 渡辺 光, 1929, 房総半島南部の海岸段丘(予報), *地理学評論*, 5, 119-126.

(Received June 27, 2003)

(Accepted September 17, 2003)