

海岸低地の掘削から推定された昔の関東地震の発生年代

萬年一剛

(神奈川県温泉地学研究所)

神奈川県では 2011 年の東日本大震災をうけて、県内の相模湾沿岸で津波堆積物を探すための調査を実施してきました。残念ながら、津波堆積物は発見できませんでしたが、意外なことに、相模湾で発生した巨大地震である関東地震の発生年代が明らかになった可能性が出て、このほど国際的な学術誌に成果が掲載されました (Mannen et al., 2018)。本稿では、津波堆積物調査がどうしてこのような予想外の結果をもたらしたのか、解説します。

■関東地震とは？

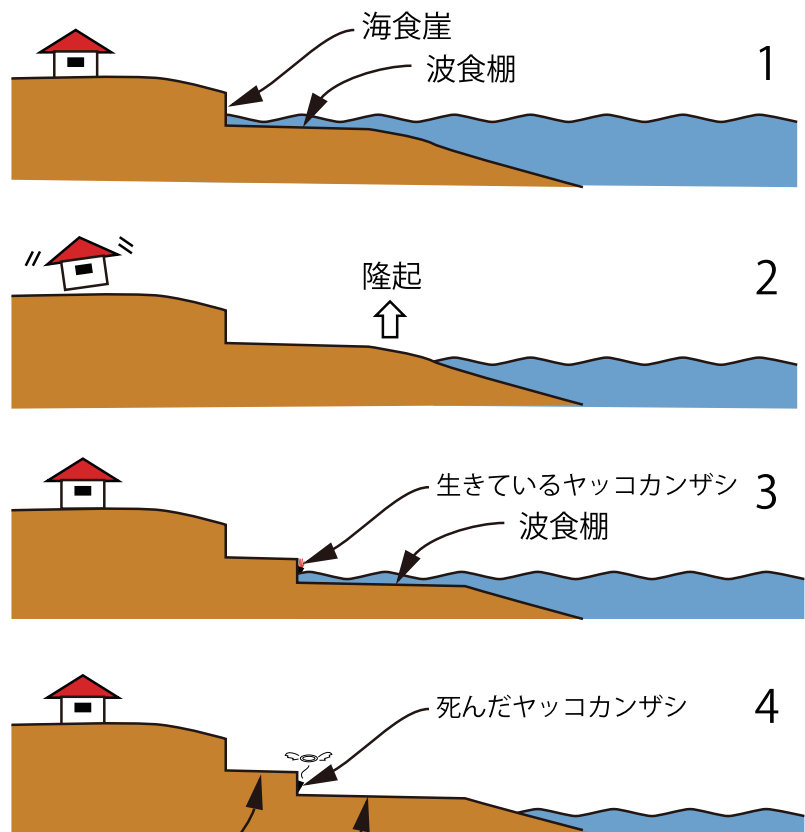
2011 年の東日本大震災による大きな被害は記憶に新しいところですが、横浜生まれの筆者が幼いときには、祖父母や学校の年配の先生方から、1923 年に発生した関東大震災の体験を良く聞いたものです。今となっては、関東大震災を知る人の多くが鬼籍に入り、体験を聞く機会はほとんど無くなりました。しかし、関東大震災は東京と神奈川を中心に、死者・行方不明者 11 万人の犠牲をだす甚大なものでした (諸井・武村, 2004)。被害総額は推定によって異なりますが 38 億円ともされ (新井, 1986)、これは当時の国家予算 (約 15 億円) の 2.5 倍以上にのぼります。まさに、忘れてはいけない、桁違いの大震災だったわけです。当然、このような恐ろしい震災がまた襲ってこないのか心配になります。

関東大震災は、地震災害の名前で、これを引き起こした地震は大正関東地震と呼ばれます。関東地震とは関東地方で発生した地震、という意味ではなく、陸側の北米プレートと、相模湾にある相模トラフから北米プレートの下に沈み込んでいるフィリピン海プレートの間で発生するマグニチュード 8 クラスの巨大地震のことを言います。大正関東地震の前には、元禄関東地震 (1703 年) があり、

やはり甚大な被害が発生しました。ところが、元禄関東地震より前の関東地震の発生時期については、これと言った定説がありません。それは何故なのでしょう？

■海岸段丘からみた昔の関東地震

房総半島や三浦半島の南端近くには、関東地震による隆起で形成された海岸段丘というものが見られます。



海岸段丘

図 1 海岸段丘の形成。

(1) 海岸付近には波による浸食で海食崖と波食棚ができる。(2) 地震により隆起すると海岸付近にも元の波食棚である平らな陸ができあがる。(3) その後、波の動きにより新たな波食棚ができる。(4) 隆起が繰り返されることにより次々と波食棚が陸になり段々の地形ができる。隆起した年代は、海面付近に生息していた貝 (ヤッコカンザシなど) の年代を測ることによりわかる。

海岸近くの海側では、波の働きにより硬い岩石が削られ海面近くに波食棚や海食台などとよばれる、比較的平坦な地形ができます。これが、隆起で陸上に上がったものが海岸段丘です。地震が繰り返すと海岸段丘は何段もできて、まさに海岸から陸側に上がる階段のようになります(図1)。

海岸段丘が陸に上がった年代がわかればそれが昔の巨大地震の年代とすることになるため、海岸段丘の研究は昔の大地震を研究する上で欠かせないものとなっています。関東地震についても、これまで海岸段丘を調べた多数の研究があります。そのひとつでは、元禄関東地震の他、2950年前、4950年前、7150年前の地震によってできた段丘が房総半島の南端にあると報告されています(穴倉、2003)。これだけを見ると、関東地震は2000年から3000年に1度の頻度で発生しているようにも見えます。しかし、これまでの研究により関東地震は少なくとも大小2種類あるということが明らかになっ

ています。

1つは、元禄型と呼ばれる、相模トラフの全域が動いて発生する大きい方の関東地震、もうひとつは大正型と呼ばれる、相模トラフの西側半分が動いて発生する小さい方の関東地震です(図2)。これまでの研究で、地形的に非常に明瞭な海岸段丘は元禄型の関東地震の時にできて、大正型の地震では小さな段丘しかできないらしいことがわかってきました。つまり、地形に証拠がちゃんと残っている2000年から3000年おきに発生する関東地震は、元禄型の関東地震と考えられるわけです。

小さな段丘は、地形が不明瞭な上に、年代がわかる試料を入手するのが難しいので、研究が難しいのです。それでも穴倉ほか(2001)は房総半島の岩井地域で詳しい調査を行い、大正型関東地震の再来周期を380年から990年と見積もりました。また、この調査では歴史時代の西暦658-686年と1050年頃に大正型の関東地震があったと結論をしています。

■歴史記録からみた昔の関東地震

日本には千年以上さかのぼることができる地震の記録が蓄積されています。関東地方は西日本に比べれば歴史記録が貧弱ですが、それでもとくに鎌倉幕府が作られた12世紀末以降は、いくつかの大地震の記録があります。しかし、文献記録だけを元に、関東地震に対応する地震を、これらの中から特定することはできません。なぜなら、地震の被害の拡がりや文献からわからないからです。

昔は地震計がありませんでしたし、地震の揺れの強さを示す震度もありませんでした。このため、現代の研究者が歴史時代におきた震源や地震の大きさを決めるためには、地震の揺れについての記述を広い地域で集める必要があります。このことにより、例えば、家屋が倒壊した範囲の大きさや、被害の中心地を明らかにし、地震の規模を示すマグニチュードや、震源の場所を推定するのです。

ところが、関東地方では、記録が残るのは唯一の大都市であった鎌倉

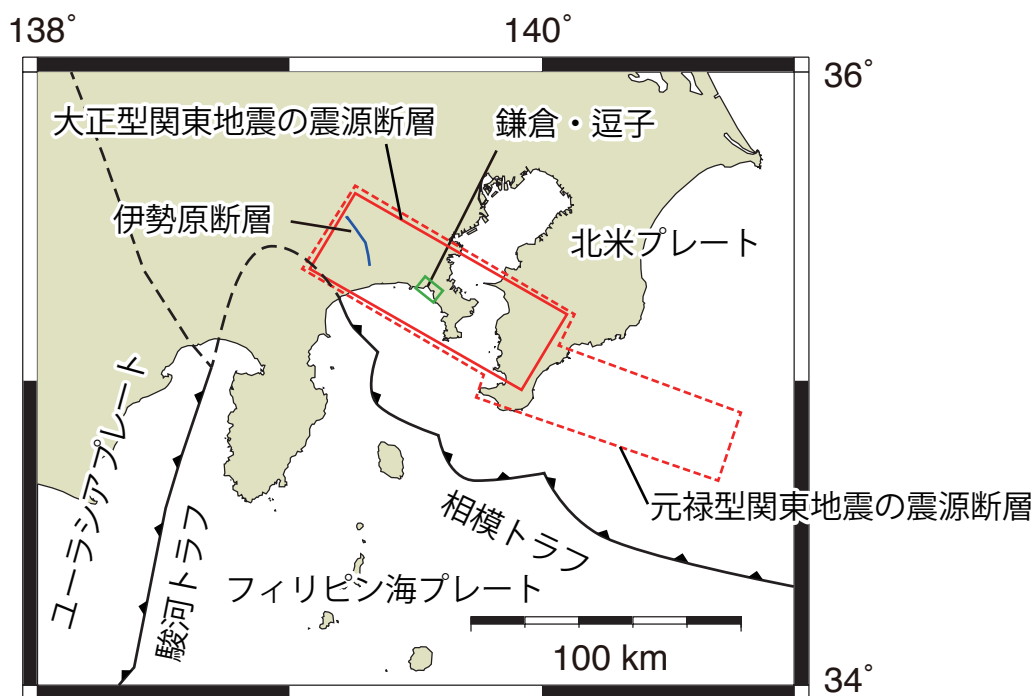


図2 2種類の関東地震の震源断層の位置 (Komori et al. 2017 を改変)。

くらいしかありませんでした。鎌倉以外の被害状況がわからないため、地震の規模や震源を絞り込むことができないのです。一応、死者数や余震の規模、津波の有無、京都での有感の有無などから、表1に挙げる地震が、関東地震の候補としてあがっています。しかし、これらの記録と、段丘から推定される地震発生時期（穴倉ほか、2001）とがかなりあいません。

ところで、津波堆積物の年代から西暦 1060-1400 年の間に関東地震があったとする研究が報告され、最近注目を浴びています（Shimazaki et al., 2011）。歴史記録からは 1293 年の正応地震が津波を伴っているようにも読めるので、この論文では発見された津波堆積物が 1293 年のもので、正応地震が関東地震だと結論しています（1293 年の地震は、鎌倉大地震ともよばれるほか、永仁の地震とも呼ばれますが、正応から永仁への改元は地震の後なので、ここでは正応地震と呼ぶことにします）。しかし、表1に見るよう

表 1 関東南部を襲った 17 世紀以前の主な大地震。

地震名 (発生年月日)	死者	建物被害 鎌倉 関東	余震	津波	京都の様子	備考
元慶 ¹ (878. 10. 28)	-	- 甚大 ¹	数日 ¹	-	有感 ¹	伊勢断層層の地震？
仁治 ² (1241. 5. 22)	-	- -	-	建物流失 ²	-	被害記録に乏しい。高潮？
正嘉 (1257. 10. 9)	-	甚大 ² -	1 か月？ ²	-	-	鎌倉市内で液状化？ ³
正応 ⁴ (1293. 5. 6)	2500 ⁵ - 23034 ⁶	甚大 ³ -	8 日間 ⁴	曖昧	有感 ⁷	鎌倉開府以来の規模 ⁸
明応 ⁹ (1495. 9. 12)	津波で 200 人 以上 ⁹	- -	-	鎌倉市内 に到達 ⁹	有感 ^{10, 11}	-

1, 日本三代実録；2, 吾妻鏡；3, 「所所地裂。水涌出。中下馬橋辺地裂破。自其中火炎燃出。色青云云。」（吾妻鏡）；4, 親玄僧正日記；5, 神明鏡；6, 武家年代記；7, 実躬卿記；8, 「先代未曾有之大珍事、自治承以降無其例云々」（親玄僧正日記）；9, 鎌倉大日記（彰考館本）；10, お湯殿上日記；11, 後法興院記

に 13 世紀には大きな地震がいくつかあること、歴史記録の津波記述が曖昧なこと、年代が 1060 年から 1400 年とあまり絞り込まれていないことなどの問題点があります。いずれにしてもこの論文は、歴史記録を参照することなく、科学的方法

だけで 1293 年の地震が関東地震だときめたものではありません。

■神奈川県による 海岸低地の調査

神奈川県では 2011 年の東日本大震災による津波被害をうけて、神奈川県沿岸で想定される津波の高さを見直すことになりました。この時、問題になったのはやはり歴史記録の少なさです。津波被害を想定する上で、過去におきた津波の様子を把握することは、想定を適切な範囲に設定する上で重要です。

大正と元禄の関東地震についてはかなり詳細な津波の記録が文書として残っていますが、それ以前の記録は津波の有無が曖昧に記述されているだけで、使い物にならないのです。そこで、神奈川県では地震学的にあり得る津波をシミュレーションにより再現するとともに、これまであまり行われてこなかった沿岸地域での津波堆積物調査を実施することになりました（写真1；図3）。

津波堆積物の調査は、神奈川県の



写真 1 津波堆積物調査のための掘削の様子（鎌倉市材木座；2012 年 9 月 9 日撮影）。クローラー式掘削装置と呼ばれる小型の機械（中央）で、深さ 1 m おきに土砂を採取する。

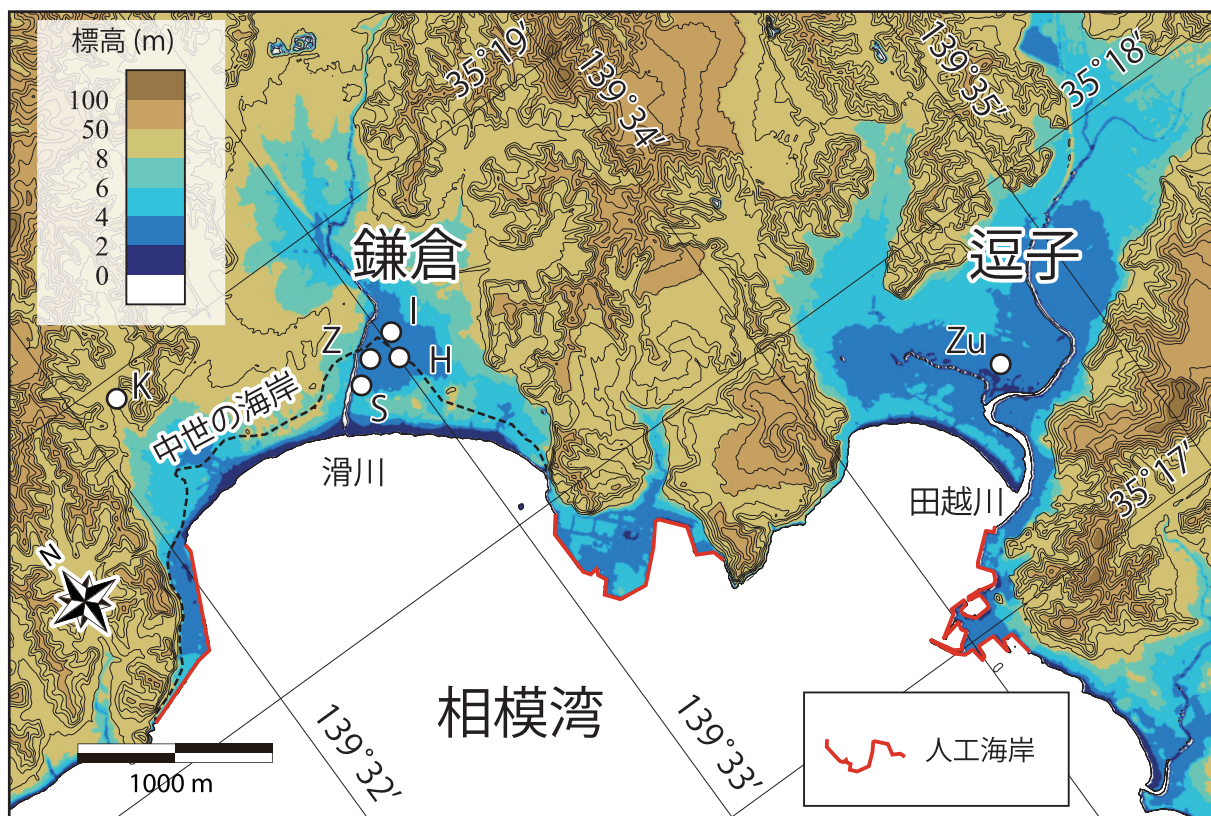


図3 鎌倉・逗子の地形と温泉地学研究所による掘削地点（白丸）。

沿岸では無理だろうと言われていました。なぜならば、神奈川県沿岸はどちらかといえばわずかに隆起を続けているからです。陸上での津波堆積物調査法には色々ありますが、もっともオーソドックスなのは海岸近くの沼や池、湿地で堆積物を探すというものです。砂浜海岸があると、砂丘ができるため、その陸側にある低地（＝海岸低地）は排水が悪く、沼や池、湿地ができます。こうした土地には泥や植物の遺体を多く含む堆積物が溜まりますが、津波があると砂丘の砂が流れ込みます。海岸低地に溜まる堆積物と、津波堆積物は見かけが大きく異なるので、海岸低地では、津波堆積物がわかりやすいのです（写真2）。

しかし、海岸低地が沈降せずにいると、海や川の作用でせっかく溜まった津波堆積物が削られてなくなってしまったり、砂丘であつという間に埋められて低地でなくなって



写真2 海岸低地に溜まった津波堆積物の例
(仙台市荒浜地区；2011年8月21日撮影)。

しまいます。沈降を続けていると、長い間低地のままでいられるので、それだけ津波堆積物をためるチャンスが増えるのです。

隆起傾向にある神奈川県では、海

岸近くでも比較的標高が高いところが多いのですが、鎌倉と逗子ではこれまでの研究から最近まで海岸付近に湿地帯が残されていたことが明らかだったので、この2市域を主に調

■鎌倉・逗子の海岸低地

6000 年前の地層の上にいきなり

干潟堆積物がどのように出来るか、教科書や先行研究を探しましたが、満足のいく説明はありませんでした。

大正関東地震では陸地測量部により地震による隆起量が測定され、鎌倉・逗子地域では約 80 cm の隆起があったことが知られています。昔の関東地震の隆起量はわかりませんが、おそらく同程度の隆起が

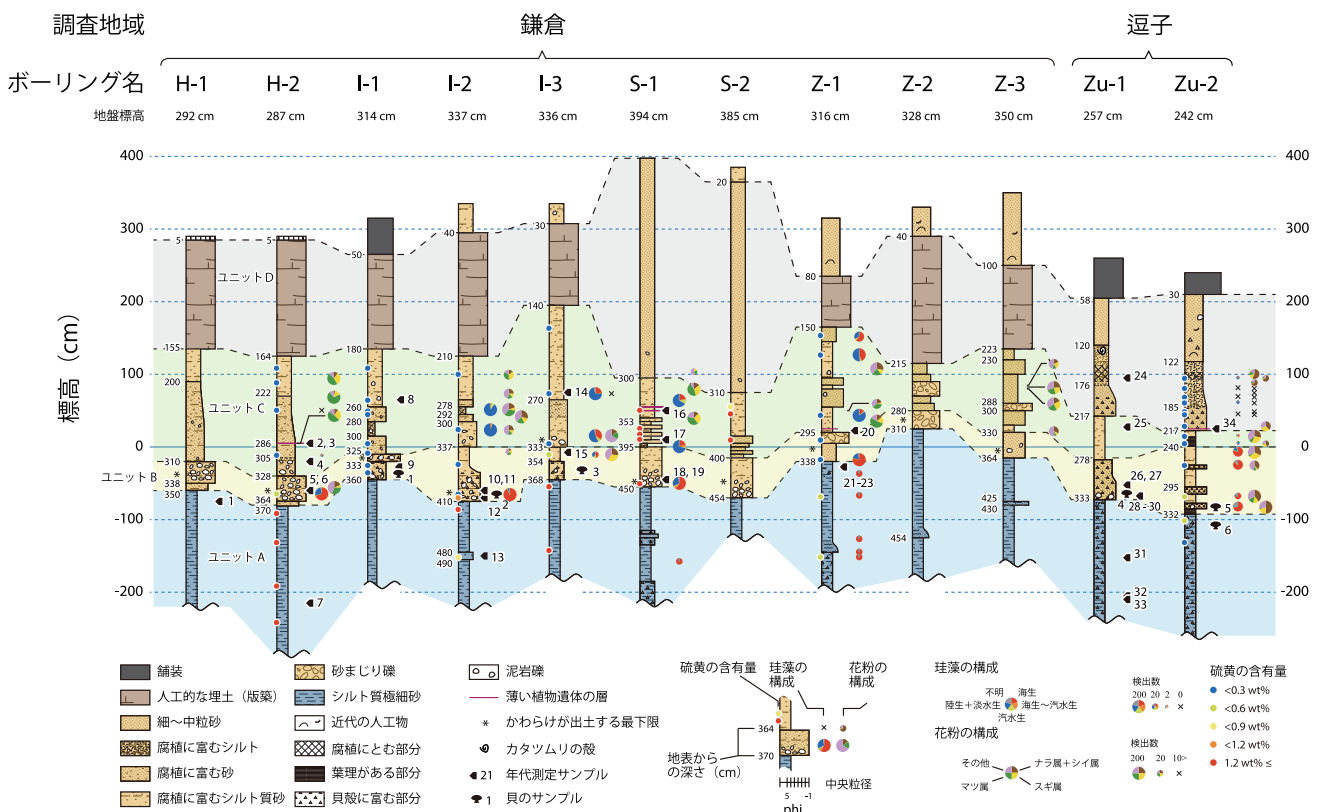


図4 鎌倉・逗子における掘削結果。

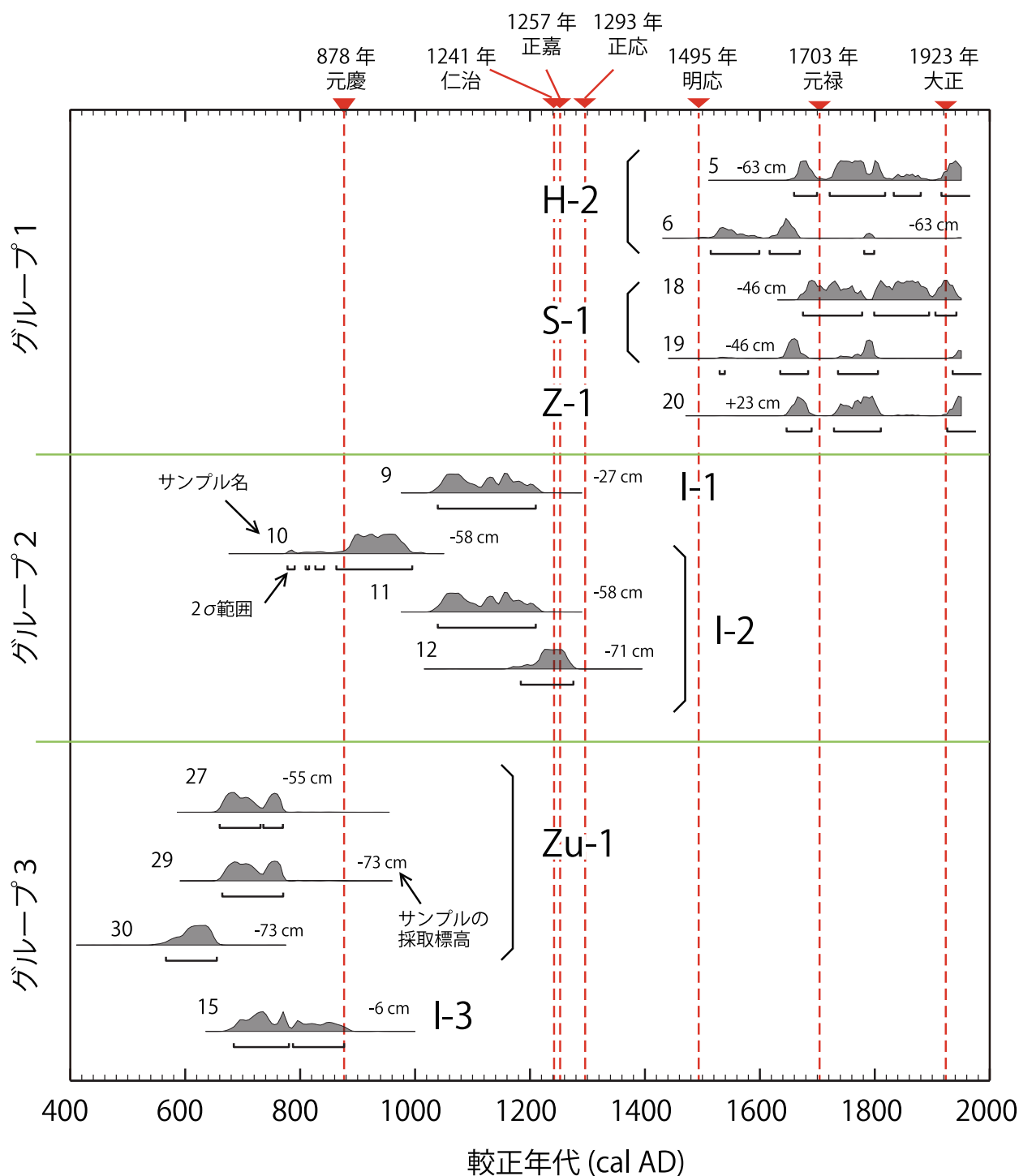


図5 干潟堆積物から発見された植物遺体の炭素同位体年代測定結果。

赤の点線は文献から知られている過去の大地震の発生時期を示す。灰色のグラフは較正年代の確率密度分布を示す。

あったものと考えられます。この地域の干満差は最大で±90cmなので、隆起すると、これまで干潟であったところのかなりの部分が、波浪の影響を受けない高さまで持ち上げられます。

こうして持ち上がった干潟堆積物の上に砂丘の砂が積もるなどすれ

ば、干潟堆積物は地層中に保存されます(図6)。実際、干潟堆積物の上のユニットCは、砂丘砂に富んだ河川～湿地の堆積物でした。つまり、(1)干潟堆積物は地震による隆起の結果、地層中に保存され、(2)干潟堆積物は常に更新されているので、その年代は地震の年代に

ほぼ等しい、という説ができあがりました。

■提案された関東地震の年代

干潟堆積物の年代から推定される関東地震は次のようにまとめられます(図5)。

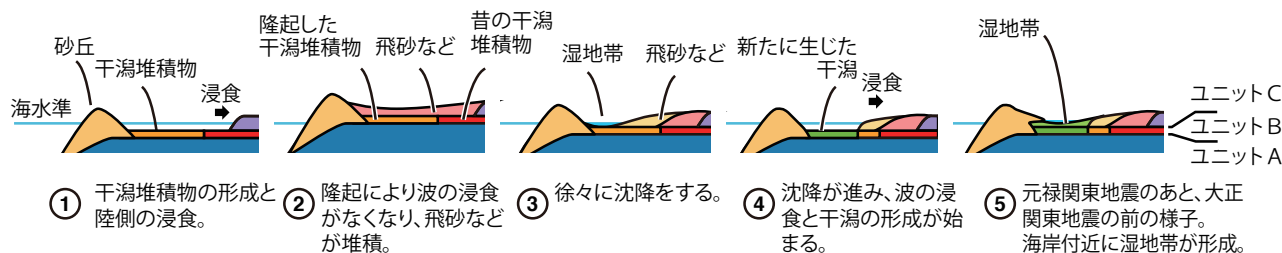


図 6 干潟堆積物が地層中に保存される理由を説明するモデル。

干潟堆積物は地震の隆起により地層中に保存されるが、地震間に年約 2mm の速さで沈降するため 400 年くらいたと波の影響を受けて浸食がまた始まるようになる。しかし、完全に浸食され切らないために年代がことなる干潟堆積物の一部が地層中に残る。

まず、一番若いグループ（グループ 1）は 17 世紀以降に出来たものですが、これは 1703 年の元禄関東地震で決まります。年代だけみると大正関東地震も候補になりますが、大正時代にはすでにここに人が住みはじめていたので干潟ではなかったことは明らかです。

二番目に若いグループ（グループ 2）は 13 世紀に出来たものと考えられます。13 世紀には 3 つの大地震があり確定的には決められませんが、1241 年の地震はやや規模が小さい様に文献からは読み取られるので候補から外れます。1293 年の正応地震は、きわめて規模が大きいようにみられ、先行研究でも関東地震の候補と目されてきたのはすでに述べたとおりです。この地震も候補の可能性はありますが、年代測定の結果はどちらかといえば 1257 年の正嘉地震に近接しています。従って、1257 年地震も無視してはいけな大地震と言うことになります。

一番古いグループ（グループ 3）は 8～9 世紀に出来たものと考えられます。8 世紀には大地震の記録はありませんが、9 世紀には 878 年の元慶地震があります。松田(1988)はこの地震を伊勢原断層の活動によるものと考えていますが、伊勢原断層（図 2）は関東地震の震源域直上にあり、関東地震を起こすプレート

間断層からのびる分岐断層なのかもしれません。

一方、最近になって関東地震の候補として注目されてきた、1495 年明応地震には対応する干潟堆積物が見つかりませんでした。

■おわりに

論文を専門的な学術誌に掲載してもらうためには、査読制度と呼ばれる関門をくぐり抜けなくてはなりません。この制度は編集委員が指名する 2 名程度のレフェリーに原稿を送り、読んでもらった上で、その人達の意見を元に掲載・不掲載を決めるというものです。今回の論文は、4 回も不掲載決定を受けるという、私の生涯記録を軽く更新する難産でした。しかし、その間に、最初は英語をなおしてもらうことだけをお願いしていたオーストラリアのニューサウスウェールズ大学の James Goff 先生と Claire Cain 博士がさまざまなアイデアを出してくださり、共著者に加わってもらいました。

Goff 先生と知り合ったのは全くの偶然で、津波堆積物調査のために筑波大学で機械を借りて、ある測定をしていた時に、そこの先生に「有名な津波の学者が来て講演するから聞いてみたら」といわれて、講演会に潜り込んだのがきっかけでした。私

は火山の論文はいくつか書いていますが、海岸低地の論文は全く初めてで、用語からわからないという状態でしたが、先生と会えたことでこれも何とかりました。

これまでに行われた関東地震の研究は多岐にわたり、わたしも全貌を把握しているわけではありませんが、まだまだわからないことがたくさんあるという印象を受けました。最近も、房総半島南端近くの千倉で詳しい地形の分析と、大量の年代測定を行った結果、6300、5800、3000、2000 年前に巨大地震があったらしいという報告がありました (Komori et al., 2017)。先に、関東地震が少なくとも 2 種類あると述べましたが、千倉で明らかになった年代は、これまでに知られている元禄型地震の年代と異なっています。このことから、この研究グループでは元禄型とも、大正型とも異なる第 3 の関東地震があると主張しています。

ただ、巨大地震でも大正型関東地震のような小さめのものについては、海岸段丘だけから履歴を探ることには限界があることは明らかのように思います。いままで注目されてこなかった海岸低地の地質が、巨大地震研究のひとつの方法として、認知され発展していくことを期待しています。

■参考文献

- 新井邦夫（1986）財政から見た関東大震災，総合都市研究，29，143-151.
- Komori, J., Shishikura, M., Ando, R., Yokoyama, Y., & Miyairi, Y. (2017). History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey. *Earth and Planetary Science Letters*, 471, 74-84. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.04.044>
- Mannen, K., Kim, H. Y., Suzuki, S., Matsushima, Y., Ota, Y., Kain, C. L., & Goff, J. (2018). History of ancient megathrust earthquakes beneath metropolitan Tokyo inferred from coastal lowland deposits. *Sedimentary Geology*, 364, 258-272. <http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.11.014>
- 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一過去約 7000 年間の堆積環境と元慶 2 年地震の変位一、東京大学地震研究所彙報，63, 145-182.
- 諸井孝文・武村雅之（2004）関東地震（1923 年 9 月 1 日）による被害要因別死者数の推定、日本地震工学会論文集，4, 21-45.
- Shimazaki, K., Kim, H. Y., Chiba, T., & Satake, K. (2011). Geological evidence of recurrent great Kanto earthquakes at the Miura Peninsula, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116, B12408. <http://doi.org/10.1029/2011JB008639>
- 穴倉正展・原口強・宮内崇裕（2001）房総半島南西部岩井低地の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間隔，地震，53, 357-372.
- 穴倉正展（2003）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，東京大学地震研究所彙報，78, 245-254.