

深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における 地震発生間隔の推定

池 原 研*

Recurrence Interval of Large Earthquakes Along the Eastern Nankai Trough Inferred from Deep-sea Turbidites

Ken IKEHARA*

Abstract

Deep-sea turbidite has potential for paleoseismicity analysis. Many deep-sea turbidites were intercalated in two sediment cores collected from two slope basins off Tokai area along the eastern Nankai Trough. Geological and topographic setting of the basins suggests that these turbidites were of earthquake origin. Depositional age of each turbidite layer was determined by radiocarbon dating using planktonic foraminifera in hemipelagic mud. The results indicated that large earthquakes along the eastern Nankai Trough might have occurred periodically every 100-150 years during the last 3000 years.

Key words : turbidite, Nankai Trough, radiocarbon dating, earthquake

キーワード : タービダイト, 南海トラフ, 放射性炭素年代, 地震

1. はじめに

巨大地震発生時にはさまざまな地質現象が現れる。海域に震源を持つ地震では、海底での地殻変動により地形が変化するほか、地震動や地殻変動は海底斜面の滑落・滑動の原因となる。また、揺れによる間隙水圧の上昇は海底地盤の液化・流動化を起こす。これらは海底斜面の崩壊を引き起こし、崩壊物は斜面前面の海盆域に崩壊堆積物として残される。北大西洋のグランドバンク周辺では地震時の斜面崩壊によりタービダイトが形成されたことが報告されている(Heezen and Ewing, 1952)。このような地震時に起こる現象を地層記録の中から読み取り、その発生時期を特定でき

ば、歴史史料には残されていない遠い過去や人口密度の低い場所での過去の地震発生時期や発生間隔、規模などの推定が可能となる。タービダイトのような斜面崩壊起源の堆積物は堆積層を用いた古地震解析のポテンシャルを有するもの一つであり、北東太平洋カスケード地域沖の深海底タービダイトを用いた古地震解析の先駆的な仕事がAdams(1990)により報告されている。しかし、海底の地震性堆積物の研究に対する要望(石橋・佐竹, 1998)があるにもかかわらず、日本において海底・湖底の地震性堆積物からの古地震解析が行われた例はまだ少ない。

一方、地層記録からの古地震解析のためには、1)地震起源の記録であることの特定、2)正確な

* 産業技術総合研究所海洋資源環境研究部門

* Institute for Marine Resources and Environment, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

発生年代の特定，が必要である（池原，2000a）。さらに，研究対象の場所が観察された現象を生じさせるような大地震の発生しうる場所がどうかもまず検討されねばならない。琵琶湖の地震性タービダイトの解析結果では，震度5以上の地震時にもみタービダイトが形成されたとされる（Inouchi *et al.*，1996）。どの程度の振動（震度）である斜面が崩壊するかどうかは，斜面を構成する堆積物の粒度や傾斜，堆積速度などによって異なると考えられるが，斜面が崩壊し始める強さについてはまだよくわかっていない。さらに，斜面崩壊が地震起源であることを特定するのは実際には難しい場合が多い。特に浅海域では，河川からの洪水流の流入，暴風時の大波など地震以外に斜面崩壊を引き起こしうる原因が豊富に存在する。海底谷はこのような浅海域で発生した崩壊起源の物質を深海域に運ぶ効率的な輸送機関であり，その出口に形成される深海扇状地にはたくさんのタービダイトが堆積している。また，一つの地震イベントでも複数の斜面が崩壊した場合，複数のタービダイトが重なり合って堆積することがあることも容易に想像できる。したがって，試料が採取された場所の堆積システムを十分理解したうえで解析を行うことが求められる（図1）。

フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む南海トラフ沿いでは，約100~150年の間隔で海域に震源を持つ巨大地震が発生している（例えば，寒川，1998，1999）。しかし，歴史史料や考古遺跡の発掘からさかのぼれる年代は2000~3000年前程度までであり，それ以前についてはよくわかっていない。西南日本前弧域の深海堆積物は連続性の高い堆積物であり，その堆積速度は一般に数cm~数m/千年であるので，比較的容易に採取可能な数m程度の堆積物柱状試料でも数千から数万年の歴史を記録している。したがって，この中に記録されている地震をできる限り正確に読み取ることにより，過去の南海トラフ沿いの地震発生間隔をより長い時間スケールの中で評価することが可能となる。

ここでは，南海トラフ東部，静岡県沖から採取された2本の堆積物コアの解析結果をもとに，過

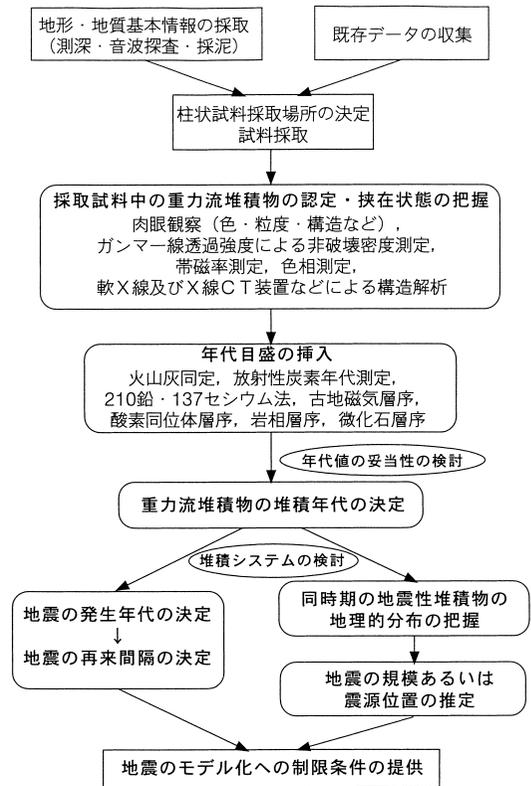


図1 深海底タービダイトを用いた古地震研究の流れ。

Fig. 1 Schematic diagram of paleoseismicity analysis using deep-sea turbidite.

去約3000年間の地震発生間隔について考察する。

II. 南海トラフ沿いの前弧域におけるタービダイトの分布

西南日本前弧域には，東から石花海海盆，遠州海盆，熊野トラフ，室戸トラフ，土佐海盆，日向海盆と前弧海盆が並んでいる。前弧海盆の海側には外縁隆起帯が存在し，外縁隆起帯に沿っては活断層が多数存在することが知られている（活断層研究会，1991；徳山ほか，1998；東海沖海底活断層研究会，1999など）。また，外縁隆起帯から南海トラフの海溝軸までの斜面域にも多数のスラストが存在し，これらの運動に関して小海盆が形成されている。これらの前弧海盆や陸棚斜面の小

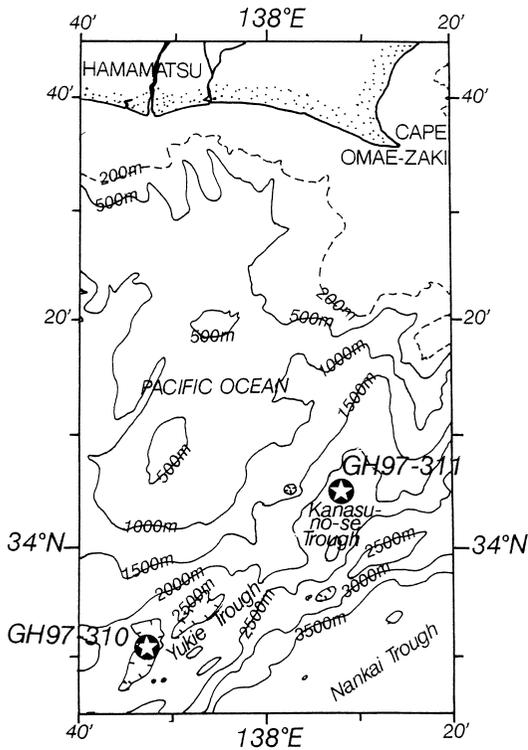


図 2 研究対象試料の採取場所。

Fig. 2 Sampling location of the studied cores.

海盆および南海トラフの堆積物中には多数のタービダイトが挟在することが知られている。

池原 (1999a) は既存の資料からこの海域におけるタービダイトの堆積頻度をまとめている。それによれば、前弧海盆の堆積物中のタービダイトの平均的な産出頻度は、堆積物 1 m あたり数枚であるが、海盆に流入する大きな海底谷、特にその谷頭が陸棚外縁を切り込み、陸上河川の河口の沖合に位置するような海底谷の開口する海底扇状地 (例えば、天竜海底扇状地や熊野トラフ西部) 上では多数のタービダイトが挟在し、1 m あたり 5 ~ 10 枚を越えるところもあるとされる。これら多数のタービダイトを構成する粒子は、浅海域での気象学的イベントや地震イベントにより海底谷を通じて浅海域から供給されたものと考えられる。一方、接続する明瞭な海底谷を持たない陸棚斜面の小海盆でもタービダイトが挟在する場合がある。

このような小海盆はその地形学的特徴から、浅海域の気象学的イベントによる堆積物粒子の直接的な供給の可能性が低いと考えられる。陸棚斜面にはこのような小海盆がたくさん存在するが、このいくつかから採取された堆積物中のタービダイトの挟在頻度は 1 m あたり数枚から 5 枚前後であり (Ikehara *et al.*, 1999), 前弧海盆に比較しても低くない頻度を持つ。

III. 試料と解析方法

ここで扱う堆積物コアは、地質調査所の地質調査船「白嶺丸」(金属鉱業事業団所有(当時), 1821.6 トン) による GH97 航海で採取された GH97-310 と GH97-311 の 2 本である(図 2)。GH97-310 は浜松南方のユキエトラフの北緯 33° 50.97', 東経 137° 47.19', 水深 2560 m から採取された全長 311.5 cm の試料である。GH97-311 は御前崎南方の金洲ノ瀬トラフの北緯 34° 05.02', 東経 138° 08.03', 水深 2420 m から採取された全長 270 cm の試料である。これらの海盆は陸棚斜面中の小海盆であり、陸棚に続く海底谷を持たず、海盆の陸側斜面には「東海スラスト」と呼ばれる南海トラフ沿いの巨大地震の震源断層として動きうる活断層 (徳山ほか, 1998) が存在し、巨大地震発生時には地形変化や激しい地震動が期待できる場である。すなわち、地形・地質学的設定では、地震起源の斜面崩壊堆積物が頻繁に堆積することが期待される場である。

採取された試料は船上にてガンマー線透過強度を用いた密度測定を行ったあと半割され、肉眼記載と各種分析試料の採取が行われた。斜面崩壊起源の堆積物であるタービダイトは、肉眼記載のほか、ガンマー線透過強度、帯磁率、軟 X 線写真などを基に認定した。堆積年代の決定は、通常時の半遠洋性泥中に含まれる浮遊性有孔虫を用いた加速器質量分析法による放射性炭素年代測定によった。炭素の同位体分別効果を補正した放射性炭素年代値は後で述べるように、海洋レザパー補正值を 400 年および 350 年として、Stuiver *et al.* (1998) を用いて、暦年代へ変換した。タービダイトの堆積年代は、得られた放射性炭素年代値お

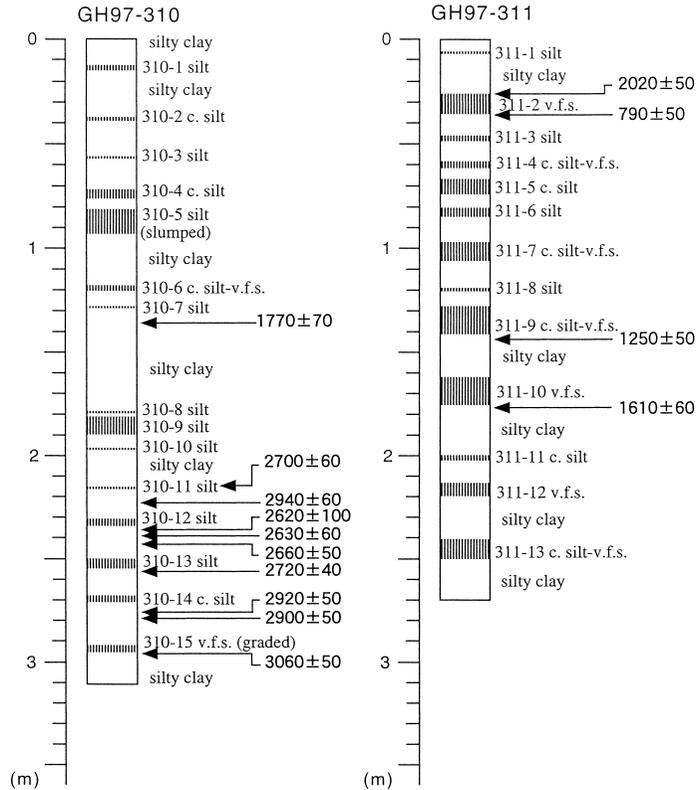


図 3 研究対象試料の柱状図と浮遊性有孔虫を用いた放射性炭素年代値 (^{13}C 補正年代)。ハッチをつけた部分がタービダイトで、白抜き部は通常時に堆積した半遠洋性泥。タービダイトの横の数字は、表 1 のタービダイト番号に対応する。

Fig. 3 Columnar sections of studied cores with radiocarbon ages of planktonic foraminifera in hemipelagic mud.

Radiocarbon age is shown in conventional age. Turbidite silt and sand (hatched part) occurs in hemipelagic mud (silty clay). Turbidite No. in Table 1 is shown with turbidite grain size and sedimentary structures.

よびそれから変換された暦年代値を用いて、半遠洋性泥の堆積速度を一定と仮定して、計算した。なお、それぞれのタービダイトは明瞭な基底を持っており、堆積時に下位の泥を侵食した可能性があるが、その量を見積もることは不可能であるので、侵食はないものとして計算した。

IV. タービダイトの挟在状況と堆積年代

コア GH97-310 には 15 枚の、GH97-311 には 13 枚のタービダイトの挟在が確認された (図 3)。これらのタービダイトは、粗粒シルトから極細粒

砂の粒度からなり、数 mm ~ 10 cm の厚さを持つ (表 1)。タービダイトの層準ではガンマー線透過強度に基づく堆積物湿潤密度や帯磁率は大きくなる (Ikehara *et al.*, 1999; Abdeldayem *et al.*, 1999)。タービダイトの基底は明瞭で、そのほとんどは級化成層を示し、一部では平行葉理やリップル葉理も認められる。また、肉眼ではタービダイト中に半遠洋性泥中よりもたくさんの石灰質底生有孔虫が確認できる。タービダイト砂の上位には、通常時の半遠洋性泥よりもやや粗粒なタービダイト泥が存在する。タービダイトはどちらのコ

表 1 2本のコア中のタービダイトの堆積年代。

¹³C 補正放射性炭素年代値 (¹⁴C Age), 海洋レザバー補正を 400 年としたときの暦年代値 (Calendar Age1) および海洋レザバー補正を 350 年としたときの暦年代値 (Calendar Age 2)

Table 1 Depositional ages of turbidites in studied cores.

Depositional age is shown in conventional radiocarbon age (¹⁴C Age) and calendar age. Calendar age 1 is calculated as marine reservoir age is 400 years, and calendar age 2 is calculated as 350 years.

Turbidite No.	Depth (cm)	¹⁴ C Age (yBP)	Calendar Age 1 (yBP)	Calendar Age 2 (yBP)
310-1	13.5-15.5	212	109	113
310-2	37.2-38.4	552	359	370
310-3	56.6-57.1	838	568	585
310-4	71.5-76	1064	734	755
310-5	81.2-93.5	1145	794	817
310-6	117.7-120.2	1525	1073	1103
310-7	128.8-129	1660	1172	1205
310-8	179-179.2	1968	1803	1833
310-9	181-190	1987	1824	1854
310-10	197-197.2	2057	1906	1935
310-11	216.2-216.7	2248	2128	2154
310-12	230.5-234.2	2387	2289	2314
310-13	250-254.5	2716	2358	2462
310-14	268.5-271	2853	2560	2621
310-15	292.2-295.5	3033	2792	2846
311-1	6-6.4	180	52	62
311-2	26-35.2	766	375	415
311-3	46-48	855	472	535
311-4	58.8-61.5	925	513	595
311-5	67.3-74	963	535	627
311-6	80.6-84.2	1006	559	663
311-7	97-105.5	1089	607	733
311-8	119.3-120.3	1179	659	809
311-9	128.2-140.9	1230	688	853
311-10	162.3-175.1	1671	1170	1230
311-11	200.4-201.8	2169	2291	2088
311-12	213.6-219.5	2402	2594	2321
311-13	241-250	2825	3147	2744

marine reservoir:400years marine reservoir:350years

アでも 15~25 cm 程度の間隔で挟在している。帯磁率異方性に基づくタービダイト中の磁性鉱物粒子のファブリックは、コア GH97-310 が北北西 南南東方向の、コア GH97-311 が北東 南西方向の古流向を持つことを示しており (Abdeldayem *et al.*, 1999), これらのタービダイト砂の給源が近傍の斜面域にあることを示している。

半遠洋性泥に含まれる浮遊性有孔虫を用いた放

射性炭素年代測定を、コア GH97-310 について 10 層準, GH97-311 について 4 層準で行った (図 3)。このうちのいくつかの年代値はより下位の層準から得られたものよりも明らかに古い。これは、タービダイトの起源となる斜面崩壊により、“古い”有孔虫が運搬・堆積し、後の生物擾乱により混合した結果と考えられる。このため、このような年代値を削除し、タービダイト間の通常時に堆

積した半遠洋性泥の堆積速度を一定と仮定すると、どちらのコアも 3000 年以上前まで達していることがわかる。さらに得られた放射性炭素年代値と半遠洋性泥の堆積速度が一定であるという仮定に基づくと、それぞれのタービダイトの堆積年代は表 1 のように推定できる。どちらのコアでもタービダイトの堆積間隔の多くは放射性炭素年代で約 70~600 年であることがわかる。この小さい方の値は、南海トラフ沿いの巨大地震の間隔である約 100 年程度とほぼ一致し、タービダイト古地震計が使える可能性を示唆している。しかし、大きな値があることはすべての巨大地震がこの 2 つのコアに記録されていないことを示し、より小さな値の存在は地震以外のイベントあるいは南海トラフ沿いのプレート境界型地震以外の地震などによる斜面崩壊の存在、あるいは年代推定法の問題点の存在を示唆している。

ところで、慣用放射性炭素年代は Libby の半減期である 5568 年を用い、大気中の二酸化炭素の ^{14}C 比放射能を一定と仮定して計算される。しかし、この計算は、半減期が現在受け入れられている 5730 年と異なること、太陽活動や地球磁場変動などによる大気中の二酸化炭素の ^{14}C 比放射能の変動を考慮していないことから、実年代（暦年代）とずれが生じる。このずれは、年代に対して直線関係にないので、放射性炭素年代値の差が同じであっても、暦年代での差は異なる場合がある。放射性炭素年代から暦年代への補正はいくつかのプログラムが提供されている（例えば、Stuiver *et al.*, 1998）。また、有孔虫などの海洋試料の場合、大気中の ^{14}C 濃度と海洋試料の炭素の起源となる海水中の ^{14}C 濃度に差があるため、正確な暦年代への変換にはこの濃度差に見合う分の年代値の補正（海洋のレザバー補正）が必要となる。現在、本研究の対象海域である東海沖について、海洋のレザバー補正值についてはわかっていない。ここでは、全海洋の平均的な補正值である 400 年という値（Broecker and Peng, 1982; Bard, 1988）と池原（2000b）が北海道沖日本海で推定した 350 年という値を用いて、タービダイトの堆積間隔を暦年代で見積もった。

各放射性炭素年代値を上記の海洋レザバー補正值と Stuiver *et al.* (1998) から暦年代値に変換し、半遠洋性泥の堆積速度が一定とする仮定の基に計算されたタービダイトの堆積間隔は、一般に放射性炭素年代から計算される間隔よりもコア上部で短め、コア下部で長めの値を示す（表 1）。どちらのコアにも間隔が 50 年以下のところもあるが、コア GH97-310 において年代測定値が多数ある層準（年代にして、2300 年前から 2850 年前の間）におけるタービダイトの堆積間隔は約 150 年でほぼ一定している。このことは、およそ 2500 年前の南海トラフ東部における巨大地震の発生間隔も現在と変わらなかったことを示している。今回得られたデータや寒川（1998, 1999）などによる陸上の古地震記録を合わせて考えれば、過去 3000 年程度の間における南海トラフ沿いのプレート境界型地震の発生間隔に大きな変化はないと言える。なお、表 1 からわかるように、海洋レザバー補正值の与え方により、イベント発生年代は大きく変わる。これに対して、発生間隔に大きな違いはない。したがって、正確な海洋レザバー補正值が得られていない現状では、地震発生年代を海底堆積物から精度よく議論することは困難である。

V. タービダイトを用いた古地震解析の今後

以上のように、いくつかの問題はあるものの深海底タービダイトも古地震解析に十分有効であることが示された。すでに、池原（2000a）によって示されているように、地層記録からより正確に地震履歴を解明するには、以下の条件を満たすことが重要である。1) 地震性の構造・堆積物であることの特定、2) 年代の欠落のない連続した試料であること、3) 年代測定に適当なものが入っていること。

地震性タービダイトについて条件 1) を満たすには、周囲の堆積システムをよく検討したうえで、解析に用いる試料を選ばねばならない。さらに、今回の結果からも、一地点の堆積物にすべての地震記録が残されているとは限らないので、一つあるいは近接する海盆から複数のコアを採取し、こ

これらのイベントの同時性を検討して、その海域の地震発生履歴を総合的に解明することが必要になる。また、試料としては、最も多くタービダイトが挟在するような試料で解析することが望ましいが、実際にはタービダイト砂が多数挟在するような場では、通常のコアラーは海底に貫入しづらいため、試料が採取できない場合も多い。このような場からよい試料を採取する技術の開発も重要である。また、調査船からの通常のコア採取では試料採取場所の詳細な堆積状況は把握不可能である。すなわち、崩壊堆積物が存在する海盆においても、実際の試料採取地点（たかだか直径十数 cm の円ではない）が崩壊堆積物の分布の真上に位置するのか、端に位置するのか、はたまた分布からはずれているのかを確認することは不可能である。潜水調査船を用いれば周囲の堆積状況を確認したうえで、試料採取が可能である（池原，1998）が、現状の深海調査船で採取できる柱状試料の長さはせいぜい数十 cm であり、堆積速度の遅い海域においてすら数回のイベントをその中に認定できにすぎない（竹内ほか，2000）。このような堆積状況を把握したうえでの試料採取が可能になれば、深海域の活断層の近傍において詳細な海底微地形を把握したうえで、断層運動の詳細を解析するために堆積物コアが利用できる可能性がある。

タービダイトの堆積年代の決定においては、できる限り多数の年代測定値があることが必要である。タービダイト自体が再堆積した堆積物であり、“古い”粒子を含んでいる可能性が高い。今回の年代測定でもタービダイト直上では下位の層準より古い年代が出ている場合がある。同じコアで堆積物中の有機炭素を用いた年代測定結果（池原，2000c）でも同様の結果が得られている。したがって、タービダイトが多数挟在する試料ほど得られた年代値の正当性の評価の上からも、多数の年代測定値を挿入する必要がある。年代値が少ないほど、半遠洋性泥の厚さの見積もりやタービダイト堆積時の侵食量の評価、半遠洋性泥の堆積速度一定の仮定に起因する誤差が大きくなる。タービダイト堆積時の下位の半遠洋性泥の侵食の評価のためには、タービダイトの上下において年代を

得るに越したことはない（池原，1999b）。しかし、実際にタービダイトの上下の年代測定結果や一つのコアについて多数の層準の年代測定結果から、タービダイトの堆積年代をきちんと決めている例はまだ多くない（例えば、池原，1999b，2000d）。年代精度を上げるためには、できる限り多数の精度のよい年代測定値が必要不可欠である。

正確な地震発生年代の特定に関しては、海洋のレザバー効果の評価が重要である。また、年代測定に使用する材料の吟味も必要である。表層水に生息する浮遊性有孔虫の単種を用いた年代測定が一般的であるが、炭酸カルシウム補償深度以深では浮遊性有孔虫は堆積物中に残されないため、年代測定には使えない。堆積物中のバルクの有機炭素を用いる方法もあるが、古い有機物の付加のため、一般に古い年代を示す（池原，2000c）。最近では、堆積物中の特定の有機分子を分離して、その中の微量の炭素を用いた年代測定法が開発されている（例えば、Uchida *et al.*, 2000）。起源のはっきりした有機物を用いて年代測定を行うことにより、正確な堆積年代を決めることができる可能性がある。しかし一方で、材料ごとに異なる年代値が出る可能性があり、年代値の評価が必要になる。このような年代測定技術は、今回のような古地震解析に限らず、海底コアのすべての解析に共通する問題であり、今後さらに発展が期待される分野である。最新の技術を導入して、より正確な年代値の挿入に努める必要がある。

VI. おわりに

海底の地震性堆積物を用いることにより古地震の解析が可能であることが示された。そして、過去 3000 年間における南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔が現在と同じ 100~150 年程度であることも推定された。しかし、個々の地震イベントの発生時期を歴史史料に匹敵するような精度で決めることはまだ困難である。地震性堆積物を多数挟在し、年代測定に適当な材料を含む“良質な”堆積物試料の入手が第一の課題である。このためには、海域の地質構造や堆積システムの理解が重要であり、海底地質構造探査や海底地形・表面構

造探査結果と組み合わせた、より詳細な海域活断層調査の体系化が必要である。さらに、古地震解析においては、多数の年代値を精度よく入れていくことが必要であり、このためには最新の年代測定技術の導入が必要になる。これらの組み合わせにより、海底の地震性堆積物を用いた古地震解析はさらに発展するものと期待される。

謝 辞

本研究で用いた海底堆積物試料の採取に当たっては、地質調査所の湯浅真人博士、斎藤文紀博士、片山 肇氏、白嶺丸の田森勝範船長をはじめとするGH97 航海の乗船研究者および乗組員の方々に大変お世話になった。記して感謝いたします。

文 献

- Abdeldayem, A.L., Yamazaki, T. and Ikehara, K. (1999): Magnetic susceptibility anisotropy and remanence of some deep-sea sediments of the Tokai basin. *Geol. Surv. Japan Cruise Rep.*, **24**, 127-146.
- Adams, J. (1990): Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: Evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin. *Tectonics*, **9**, 569-583.
- Bard, E. (1988): Correction of accelerator mass spectrometry ^{14}C ages measured in planktonic foraminifera: Paleocceanographic implication. *Paleoceanography*, **3**, 635-646.
- Broecker, W.S. and Peng, T.-H. (1982): *Tracers in the sea*. Eldigio Press, New York, 690p.
- Heezen, B.C. and Ewing, M. (1952): Turbidity currents and submarine slumps, and the 1929 Grand Banks Earthquake. *Amer. J. Sci.*, **250**, 849-873.
- 池原 研 (1998) 潜水調査船を用いた海底表層堆積物中のタービダイトの古流向解析: 北海道西方奥尻海盆の例. *JAMSTEC 深海研究*, **14**, 455-465.
- 池原 研 (1999a) 深海底タービダイトからみた南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔. *月刊地球*, 号外, **24**, 70-75.
- 池原 研 (1999b) 深海底タービダイトの発生周期とその古地震学的意義: 熊野トラフのピストンコアの解析例. *堆積学研究*, **49**, 13-21.
- 池原 研 (2000a) 地震性堆積物を用いた地震発生年代と発生間隔の解析. *地質調査所月報*, **51**, 89-102.
- 池原 研 (2000b) いくつかの材料を用いた海底堆積物の放射性炭素年代値の比較. *月刊地球*, **22**, 670-674.
- 池原 研 (2000c) 海底堆積物中の浮遊性有孔虫と有機炭素を用いた放射性炭素年代測定値の比較. *地質調査所月報*, **51**, 299-307.
- 池原 研 (2000d) 北海道北端部、利尻トラフの海底堆積物中にタービダイトとして記録された地震. *第四紀研究*, **39**, 569-574.
- Ikehara, K., Katayama, H., Saito, Y., Komiya, M., Ishizuka, O., Yuasa, M. and Nakasone, T. (1999): Surface sediment characteristics and sedimentology off Tokai region. *Geol. Surv. Japan Cruise Rep.*, **24**, 101-125.
- Inouchi, Y., Kinugasa, Y., Kumon, F., Nakano, S., Yasumatsu, S. and Shiki, T. (1996): Turbidites as records of intense palaeoearthquakes in Lake Biwa, Japan. *Sediment. Geol.*, **104**, 117-125.
- 石橋克彦・佐竹健治 (1998) 古地震研究によるプレート境界巨大地震の長期予測の問題点 日本付近のプレート沈み込み帯を中心として. *地震*, **50**, 別冊, 1-21.
- 活断層研究会 (1991) 新編 日本の活断層 分布図と資料. 東京大学出版会, 437p.
- 寒川 旭 (1998) 考古遺跡にみる地震と液化化の歴史. *科学*, **68**, 20-24.
- 寒川 旭 (1999) 過去2千年間の遺跡に刻まれた地震の痕跡. *月刊地球*, 号外, **24**, 56-63.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998): INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, **40**, 1041-1083.
- 竹内 章・岡村行信・加藤幸弘・池原 研・張 勁・佐竹健治・長尾哲史・平野真人・渡辺真人 (2000) 日本海東縁、奥尻海嶺および周辺の大地震と海底変動. *JAMSTEC 深海研究*, **16II**, 29-46.
- 東海沖海底活断層研究会 (1999) 東海沖の海底活断層. 東京大学出版会, 151p.
- 徳山英一・平 朝彦・倉本真一・山本富士夫 (1998) 東海沖海底の変動地形. *科学*, **68**, 56-57.
- Uchida, M., Shibata, Y., Kawamura, K., Yoneda, M., Mukai, H., Tanaka, A., Uehiro, T. and Morita, M. (2000): Isolation of individual fatty acids in sediments using preparative capillary gas chromatography (PCGC) for radiocarbon analysis at NIES-TERRA. *Nucl. Instr. and Meth. B*, **172**, 583-588.

(2001年5月7日受付, 2001年6月29日受理)