

トルコ・エルジンジャン東方における北アナトリア断層の発掘調査

奥村晃史（地質調査所環境地質部）・吉岡敏和（地質調査所地質部）

〒 305 茨城県つくば市東1-1-3, kojiok@gsj.go.jp

İsmail Kuşçu (MTA 地質研究部)

Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Genel Müdürlüğü, 06520 Ankara, Turkey

中村俊夫（名古屋大学年代測定資料研究センター）

〒 464-01 愛知県名古屋千種区不老町, g44466a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp

鈴木康弘（愛知県立大学文学部）

〒 467 愛知県名古屋市瑞穂区高田町 3-28

1. はじめに

北アナトリア断層はトルコ北部を1000km以上にわたって東西に走る右横ずれ型のプレート境界断層で、カリフォルニアのサンアンドレアス断層とならんで、地球上で最も顕著な陸上活断層の一つである。今世紀の半ば、1939年から1967年にかけて、北アナトリア断層では震源の系統的な西への移動を伴うマグニチュード7クラスの大地震が相次いで発生した（図1）。この一連の地震は、1939年の地震を皮切りに破壊が逐次西へ波及したものと考えられ、長大な断層帯の破壊過程を示す典型的な例とされている。

このような大地震が過去にどのように発生してきたかを解明することは、北アナトリア断層から将来発生する地震の時期と規模を予測するうえで基本的に重要なことである。また、長大な断層は通常いくつかの区間（セグメント）に分かれて地震を発生させるが、セグメントが繰り返し発生する地震の度に一定であるか否か、セグメントごとの地震再来周期にどのような差があるか、といったセグメンテーションの問題について過去の地震の発生様式から検討するためにも北アナトリア断層は非常に重要なフィールドのひとつである。

ところが、これまで北アナトリア断層で行われてきた研究では、地球物理学・測地学の立場からの現在または数十年以下のごく近い過去に関するものと、構造地質学の立場からの過去数百万年の間の累積変位量の議論が主流をなしてきた。半面、過去数百年～数千年の間にいつ、どこで大地震が発生したかを明かにする古地震の研究はあまり活発ではなかった。このため、将来の地震の予測に直接役立つ最近の地震時系列や単位変位量・平均変速度などのパラメーターはほとんど未知のままであった。

歴史時代の地震に関しては、AMBRASEYS (1970; 1971), AMBRASEYS and FINKEL (1991) などの研究から、ローマ時代以降の個別の地震や地震活動が活発な時期が特定されつつ

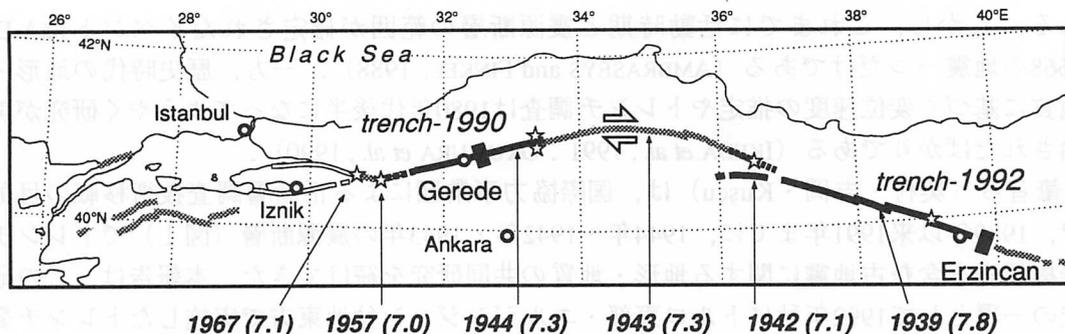


図1 北アナトリア断層から今世紀に発生した大地震とトレンチ発掘調査地点。断層線の異なった模様はそれぞれの地震に対応する。

Fig. 1 The surface faulting of the North Anatolian fault in 20th century and the sites of exploratory trenches. The pattern of the fault line indicates individual event.

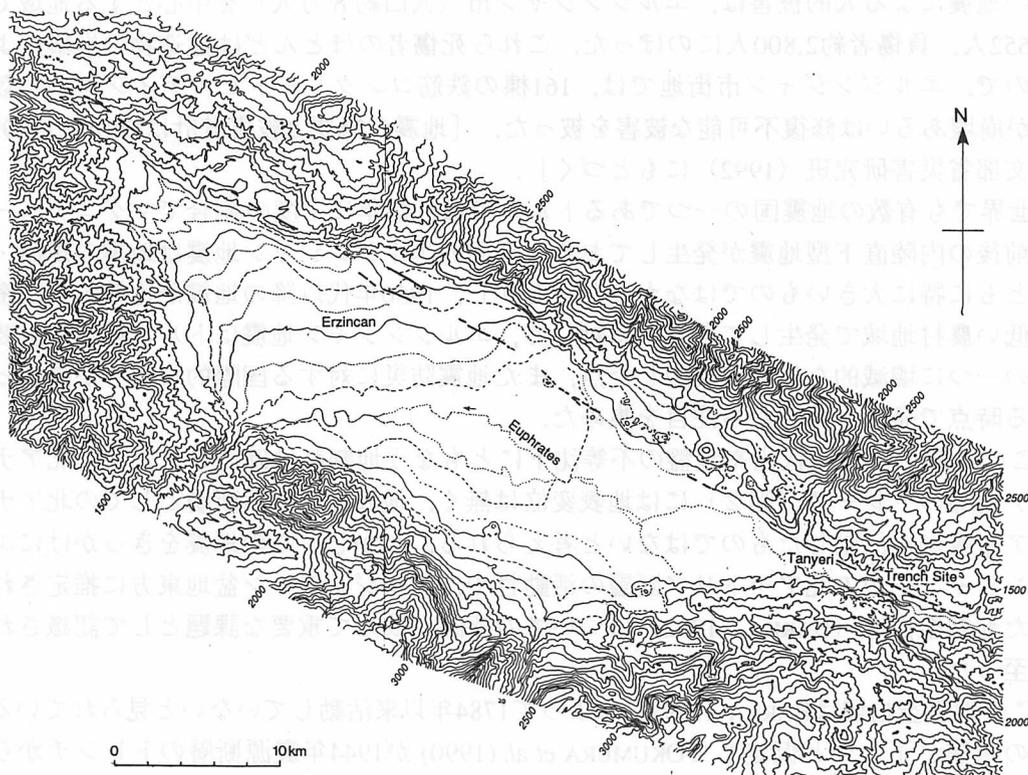


図2 エルジンジャン盆地の北アナトリア断層（実線）とトレンチ発掘調査地点。1939年の地震では图中Tanyeriから西へ350 kmの断層が発生した。

Fig. 2 Trench site and the topography of the Erzincan Basin with the trace of the North Anatolian fault (solid line). The 350 km long rupture of the 1939 earthquake began at Tanyeri.

ある。しかし、これまでに活動時期と震源断層の範囲が確定されたイベントはA.D. 1668の地震一つだけである (AMBRASEYS and FINKEL, 1988)。一方、歴史時代の地形・地質に基づく変位速度の推定やトレンチ調査は1980年代後半になってようやく研究が開始されたばかりである (IKEDA *et al.*, 1991; OKUMURA *et al.*, 1990)。

筆者ら (奥村・吉岡・Kuşçu) は、国際協力事業団による活断層調査技術移転の目的で、1989年以来1991年までに、1944年・1942年・1943年の震源断層 (図1) でトレンチ発掘調査を含む古地震に関する地形・地質の共同研究を続けてきた。本報告は、この研究の一環として1992年秋にトルコ東部・エルジンジャン盆地東方で実施したトレンチ発掘調査の概要を述べる。

2. 1992年のエルジンジャン地震とトレンチ発掘調査の経緯

1992年3月13日午後7時18分 (トルコ標準時=GMT+2時間), トルコ東部・エルジンジャン盆地の地下28kmを震源とするマグニチュード (Ms) 6.8の地震が発生した。この地震による人的被害は、エルジンジャン市 (人口約8万人) を中心とする地域で死者652人、負傷者約2,800人にのぼった。これら死傷者のほとんどは建造物の崩壊によるもので、エルジンジャン市街地では、161棟の鉄筋コンクリートビルディングの半数以上が崩壊あるいは修復不可能な被害を被った。[地震の概要と被害統計はERDIK (1992) と文部省災害研究班 (1992) にもとづく]。

世界でも有数の地震国の一つであるトルコでは、数年に1度の割合でマグニチュード7前後の内陸直下型地震が発生しており、今回のエルジンジャン地震は地震の規模・被害ともに特に大きいものではなかった。しかし、1950年代以降の地震が比較的人口密度の低い農村地域で発生してきたのに対して、エルジンジャン地震はトルコ東部の主要都市の一つに壊滅的な被害が集中した点、また地震防災に対する国際的な関心が高まっている時点で発生した点から注目を集めた。

この地震では、液状化や地盤の不等沈下にとまなう地割れは確認されたが、北アナトリア断層のトレース (図2) には地表変位は無く、地表を切る活断層としての北アナトリア断層が再活動したものではないと考えられる。しかし、この地震をきっかけにエルジンジャン周辺の北アナトリア断層の活動性や、エルジンジャン盆地東方に推定されていた地震空白域 (BARKA, 1992) についての評価が改めて重要な課題として認識されるに至った。

この地震空白域はBARKA (1992) によって1784年以来活動していないと見られている。この指摘が正しいと仮定してOKUMURA *et al.* (1990) が1944年震源断層のトレンチから得た220~280年の平均再来間隔をあてはめると、1784年以来の経過時間は平均再来間隔の75~95%に達する。エルジンジャン盆地が近い将来再びM7クラスの大震災に襲われるか否かは、ようやく緒についたばかりのエルジンジャン市街中心地の復興にとっても重要な問題である。このような背景から、1992年の共同研究では、エルジンジャン盆地東

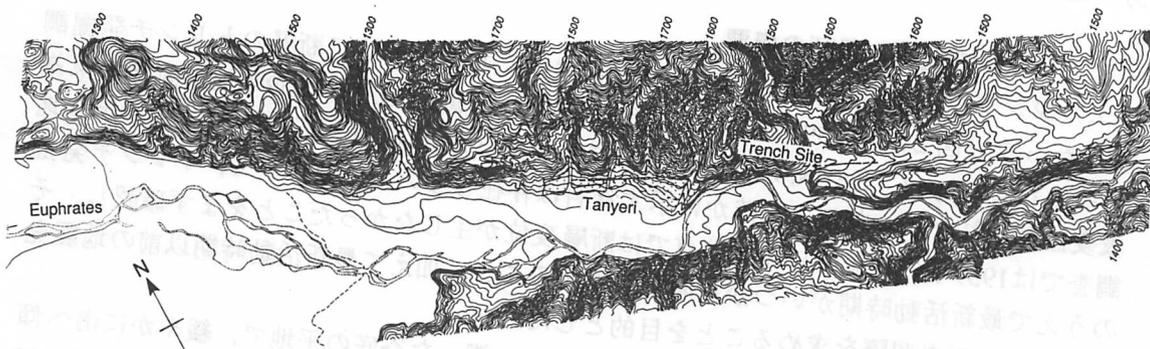


図3 調査地点周辺の地形
(等高線間隔10m)
Fig. 3 Topography around
the trench site (counter
interval: 10 m).

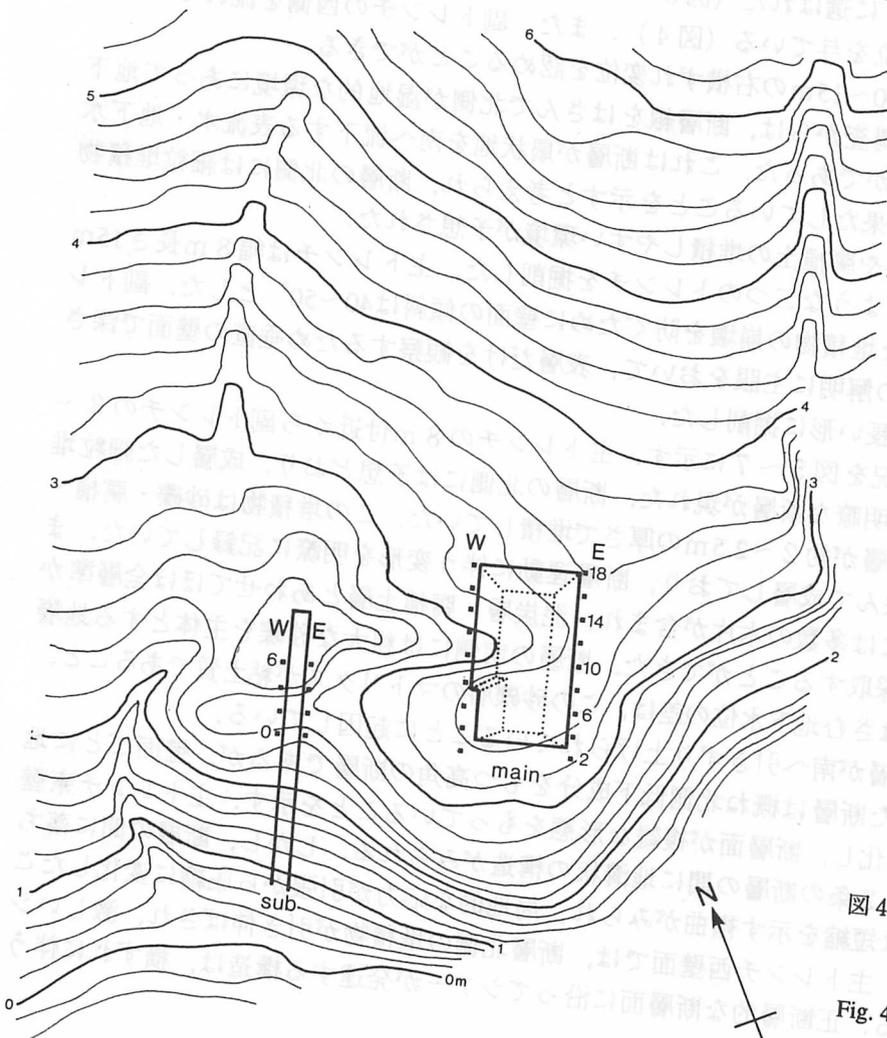


図4 トレンチの配置と周
辺の微地形 (等高線
間隔 20cm)
Fig. 4 Detailed topographic
map around the tren-
ches (counter interval:
20 cm).

方の地震空白域の古地震を解明することが課題となった。

3. トレンチ調査と露頭の概要

エルジンジャン東方約 30km のサルカヤにおいて北アナトリア断層のトレンチ発掘調査を行った (図 2, 3: 39° 36' 21"N, 39° 51' 23"E)。掘削地点は 1939 年地震断層の東端とみられる Tanyeri (KETIN, 1969) のさらに東方約 3 km に位置しているが、1939 年に地表変位が現れなかったことを確かに示す資料は存在しない。したがって、トレンチ発掘調査では 1939 年の地震時に発掘地点では断層変位が生じなかったことをまず確認し、そのうえで最新活動時期がいつかを明らかにすること、加えて最新活動時期以前の地震発生時期から再来間隔を求めることを目的とした。

調査地点はユーフラテス川右岸の支流を約 1 km 遡った谷底の平地で、緩やかに南へ傾斜する扇状地の末端近くに選ばれた (図 3)。断層はこの面に北側 (上流側) 低下、20 ~ 50cm の見かけ垂直変位を与えている (図 4)。また、副トレンチの西側を流れるチャンネルには不明瞭ながら 10 ~ 15m の右横ずれ変位を認めることができる。

空中写真判読と現地調査からは、断層線をはさんで北側が湿地的な環境にあって地下水位が高いことが明らかであった。これは断層が扇状地を南へ流下する表流水・地下水に対してダム役割を果たしていることを示すと考えられ、断層の北側には細粒堆積物がトラップされ、泥炭や腐植土の堆積しやすい環境が予想された。

ここに図 4 に示したような二つのトレンチを掘削した。主トレンチは幅 8 m 長さ 15 m 深さ約 3 m で、軟弱な堆積物の崩壊を防ぐために壁面の傾斜は 40 ~ 50° とした。副トレンチは最新活動時期の解明に主眼を置いて、表層だけを観察するため垂直の壁面で深さ 1.5 m 幅 1.2 m の浅く細長い形に掘削した。

トレンチ壁面の状況を図 5 ~ 7 に示す。主トレンチの 8 m 付近から副トレンチの 3 ~ 4 m 前後にかけて、明瞭な断層が現れた。断層の北側には予想どおり、成層した細粒堆積物を主体とする地層が約 2 ~ 2.5 m の厚さで堆積していた。この堆積物は砂礫・腐植・泥炭の薄層を多く挟んで成層しており、断層運動に伴う変形を明瞭に記録していた。また砂礫層・粘土層には多数の木片が含まれ、泥炭層・腐植土層とあわせてほぼ全層準から年代測定試料を採取することができた。断層の南側には粗大な砂礫を主体とする地層が現れた。断層をはさむ地下水位の差は、この砂礫層のマトリクスが粘土質であること、断層に沿って粘土層が南へ引きずり上げられていることに起因している。

壁面にあらわれた断層は概ね北側低下成分をもつ高角の断層であるが、壁面ごとに地質構造は大きく変化し、断層面が複雑な形態をもっていることを示す。主トレンチ東壁面では上方に開く 2 条の断層の間に地溝状の構造がみられる。しかし、断層の間に落ち込んだ堆積物には短縮を示す褶曲がみられ、局地的な応力が引張から圧縮に変化したことを示している。主トレンチ西壁面では、断層北側の堆積物が引き伸ばされ、激しいシアーを受けている。正断層的な断層面に沿ってシアーが発達する構造は、横ずれに伴う

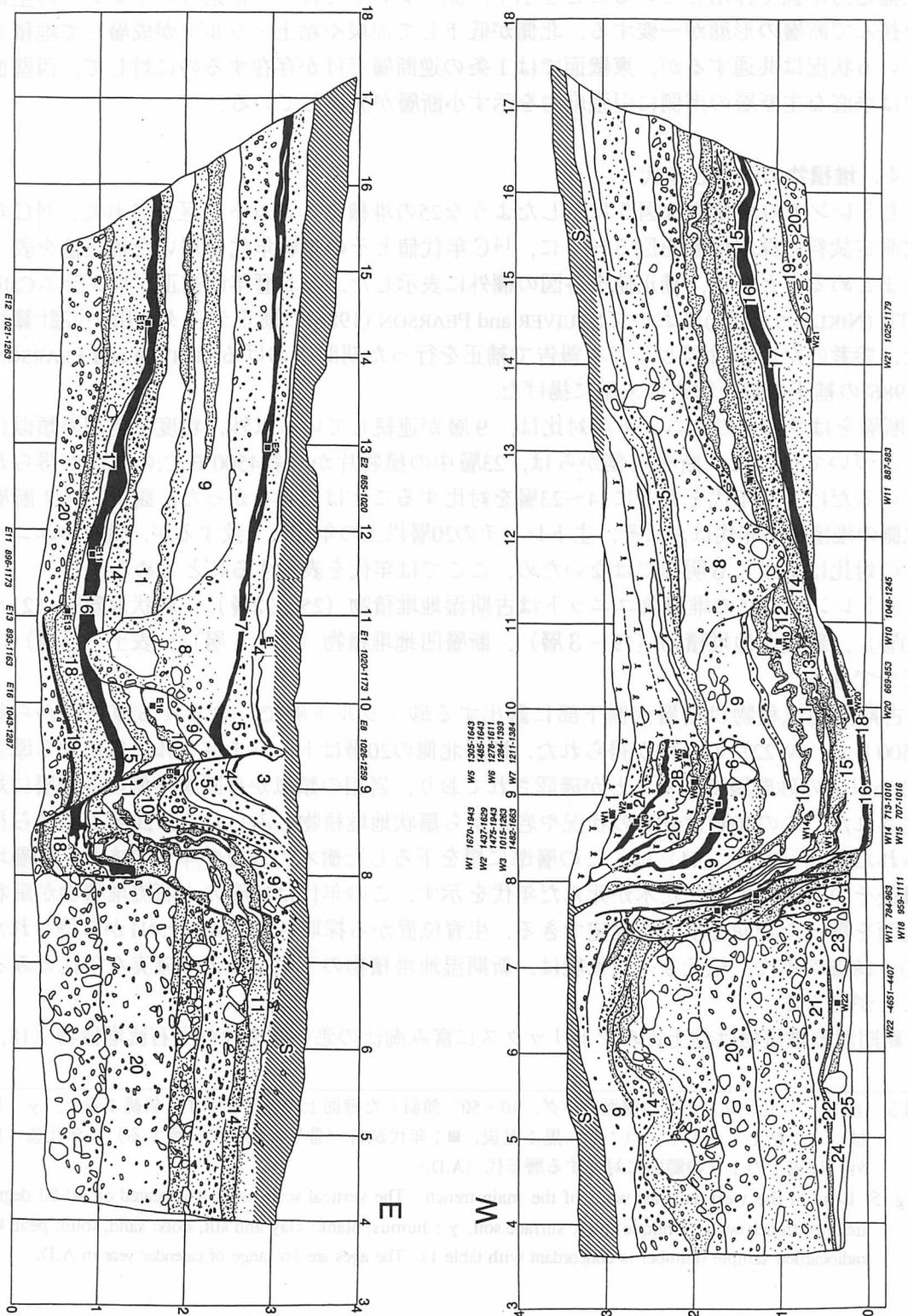


図5 主トレンチ東・西壁面のログ。詳細は次頁の説明を参照のこと。

Fig. 5 Logs of east and west walls in the main trench. For details, see the explanation on next page.

圧縮応力が強く作用していることを示す。副トレンチでは、1 m余りのトレンチの空間を挟んで断層の形態が一変する。北側が低下して泥炭や粘土・シルトが成層して堆積している状況は共通するが、東壁面では1条の逆断層だけが存在するのに対して、西壁面では垂直な主断層の南側に引張応力を示す小断層が発達している。

4. 堆積物の区分と年代

主トレンチの堆積物は図5に示したような25の堆積物ユニットに区分された。¹⁴C年代測定試料の採取位置を図5～7に、¹⁴C年代値とその年輪年代を用いた補正値を表1にまとめるとともに、補正値を各図の欄外に表示した。なお暦年は補正プログラムCalib ETH (NIKLAUS, 1991)においてSTUIVER and PEARSON (1986)の補正データを用いて計算した。参考のための付図として本報告で補正を行った期間におけるSTUIVER and PEARSON (1986)の補正曲線を報告の末尾に掲げた。

断層をはさんでのユニットの対比は、9層が連続している以外、粒度・色調の類似にもとづいて行った。断層南側からは、23層中の植物片から約4500 B.C.の年代が得られているだけで、年代をもとに14～23層を対比することはできなかった。副トレンチ断層北側の堆積物の年代はおよそ、主トレンチの20層以上の年代と一致するが、個々のユニットの対比は必ずしも明確ではないため、ここでは年代を表示するにとどめる。

主トレンチの25の堆積物ユニットは古期湿地堆積物(25～22層)、扇状地礫層(21～20層)、新規湿地堆積物(19～3層)、断層凹地堆積物(2～1層)、表土(S層)に区分できる。

古期湿地堆積物は断層南側下部に露出する砂・シルト層で、含まれる植物片から約4500 B.C. (W22)の年代が得られた。断層北側の20層はトレンチ底全体に露出する厚さ50cm以上の砂礫層であることが確認されており、岩相の類似から断層南側の砂礫層に対比された。この20層は分布の状況や岩相から扇状地堆積物とみられる。20層上面から得られた年代(W21, N1)は、この層準に根を下ろした樹木の表皮の年代であり、20層堆積後その表面に生育した木が死んだ年代を示す。この年代は18層の土石流堆積物が扇状地面を覆った時期を示すと推定できる。生育位置から採取されたW21とN1から得られた20～18層の年代、紀元9～11世紀は、新規湿地堆積物の下限を与える確実な年代とみることができる。

新規湿地堆積物は粘土質のマトリックスに富み淘汰の悪い礫を含む土石流堆積物(18、

図5 (前頁) 主トレンチ東西壁面のログ。40～50°傾斜した壁面上の実長を示す。斜線：表土，γ：腐植，白：粘土・シルト，点：砂，黒：泥炭，■：年代試料(番号は表1に一致する)。年代値(欄外)は表1の1σの範囲に対応する暦年代(A.D.)。

Fig. 5 Logs of the west and east walls of the main trench. The vertical scale is as it appeared on 40-50 degree inclined trench wall. Oblique lines: surface soil, γ: humus, blank: clay and silt, dots: sand, solid: peat, ■: radiocarbon sample (number is concordant with table 1). The ages are 1σ range of calendar year in A.D.

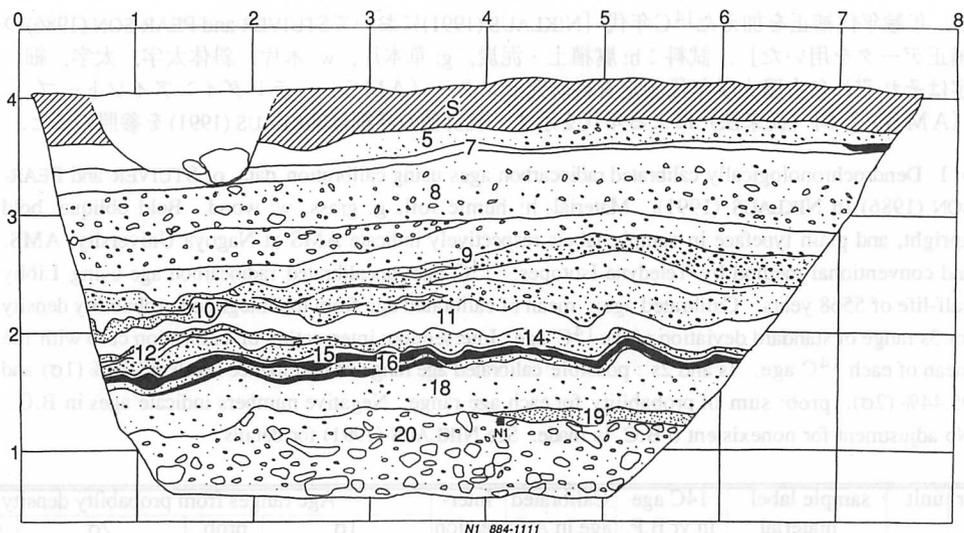


図6 主トレンチ北壁面のログ。凡例は図5に同じ。

Fig. 6 Log of the north wall of the main trench. Legend is the same as in the figure 5.

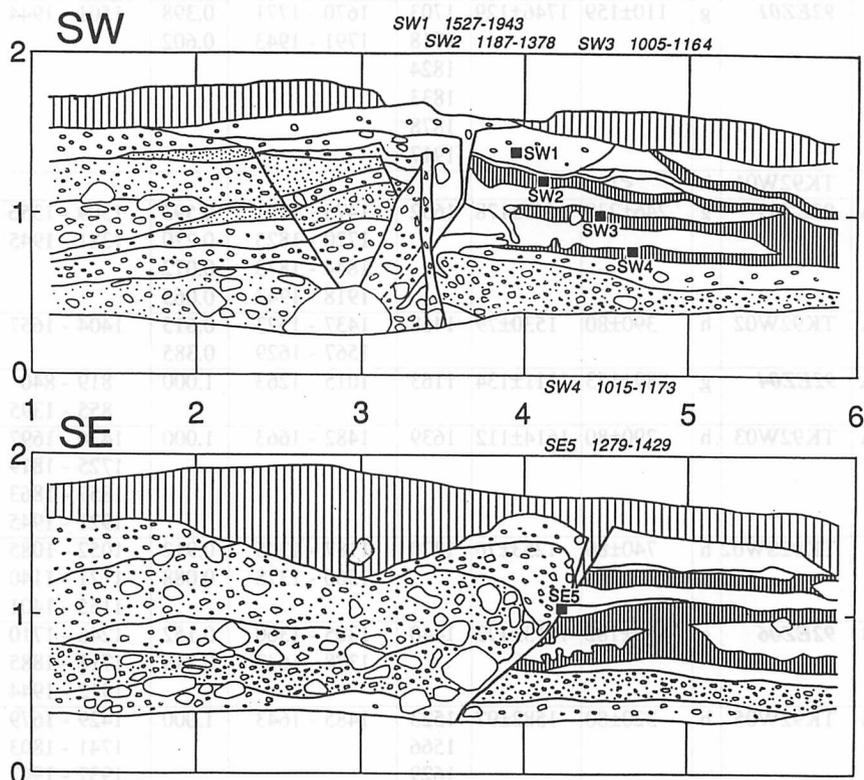


図7 副トレンチのログ。垂直な壁面のログで、SE壁面は実際の壁面とは鏡像の関係にある。粗い縦線：礫質の表土，密な縦線：未分解の泥炭

Fig. 7 Logs of the sub trench. The walls were vertical. A mirror image of SE wall is shown. Sparse vertical lines: pebbly surface soil, Dense vertical lines: undissolved peat.

表 1. 年輪年代補正を加えた¹⁴C年代 [NIKLAUS (1991)においてSTUIVER and PEAR-SON (1986)の補正データを用いた]. 試料: h: 腐植土・泥炭, g: 草本片, w: 木片. 斜体太字, 太字, 細字はそれぞれ名古屋大学年代測定資料研究センター (AMS), テレダインアイソトープ (AMS), 同 (従来法) による年代を示す. 統計値の詳細はNIKLAUS (1991)を参照のこと.

Tab. 1 Dendrochronologically calibrated radiocarbon ages using calibration data of STUIVER and PEAR-SON (1986) in NIKLAUS (1991). Material- h: humic soil, g: grass, w: wood. Bold oblique, bold upright, and plain typeface in sample labels respectively indicate AMS at Nagoya University, AMS, and conventional method by Teledyne Isotopes. ¹⁴C age: uncalibrated radiocarbon age using Libby half-life of 5568 years. Calibrated age: mean of calibrated age from the integrated probability density for 3s range of standard deviation of the ¹⁴C age. Intersection: intersection of calibration curve with the mean of each ¹⁴C age. 1s and 2s : possible calibrated age range of confidence levels 68.26% (1σ) and 95.44% (2σ). prob: sum of probability for each age range. Negative numbers indicate ages in B.C. No adjustment for nonexistent 0 B.C. is made. See NIKLAUS (1991) for details.

number	unit	sample label material		14C age in yr B.P.	Calibrated age in A.D.	Inter-section	Age ranges from probability density			
							1σ	prob.	2σ	prob.
SW 1	1 ?	92EZ02	w	206±155	1700±145	1664	1527 - 1558 1632 - 1886 1911 - 1943	0.091 0.807 0.102	1461 - 1944	1.000
W 1	1	92EZ01	g	110±159	1746±129	1703 1718 1824 1833 1878 1917	1670 - 1771 1791 - 1943	0.398 0.602	1501 - 1944	1.000
W 1	1	TK92W01	h	<190						
W 2	2 A	92EZ03	g	246±238	1645±178	1652	1475 - 1701 1720 - 1823 1844 - 1873 1918 - 1943	0.593 0.270 0.072 0.065	1309 - 1356 1381 - 1945	0.033 0.967
W 2	2 A	TK92W02	h	390±80	1530±79	1468	1437 - 1523 1567 - 1629	0.615 0.385	1404 - 1657	1.000
W 3	2 A	92EZ04	g	889±153	1111±134	1163	1015 - 1263	1.000	819 - 840 855 - 1395	0.009 0.991
W 3	2 A	TK92W03	h	290±80	1614±112	1639	1482 - 1663	1.000	1436 - 1697 1725 - 1819 1857 - 1863 1921 - 1945	0.836 0.139 0.003 0.022
SW 2	2 ?	TK92SW02	h	740±80	1253±76	1270	1187 - 1305 1360 - 1378	0.912 0.088	1052 - 1085 1121 - 1140 1155 - 1401	0.033 0.019 0.948
W 5	2 B	92EZ06	g	450±182	1513±172	1440	1305 - 1360 1378 - 1643	0.152 0.848	1246 - 1710 1711 - 1885 1912 - 1944	0.863 0.117 0.020
W 5	2 B	TK92W05	h	320±80	1582±97	1523 1566 1629	1485 - 1643	1.000	1429 - 1679 1741 - 1803 1937 - 1943	0.928 0.069 0.005
SW 3	2 ?	TK92SW03	h	960±80	1082±80	1030	1005 - 1164	1.000	901 - 917 945 - 1237	0.015 0.985
SE 5	2 ?	92EZ05	w	593±122	1360±92	1321 1342 1391	1279 - 1429	1.000	1175 - 1523 1568 - 1628	0.967 0.033

W	6	2	C	92EZ07	g	526±148	1429±134	1411	1278 - 1511 1610 - 1611	0.995 0.005	1172 - 1671 1769 - 1794	0.992 0.008
W	6	2	C	TK92W06	h	630±80	1340±48	1300 1365 1374	1284 - 1325 1337 - 1393	0.423 0.577	1256 - 1433	1.000
SW	4	2	?	TK92SW04	h	940±80	1099±75	1039	1015 - 1173	1.000	965 - 1255	1.000
E	1	4		92EZ08	g	Failed						
E	1	4		TK92E01	h	930±80	1106±74	1043 1105 1112 1150	1020 - 1173	1.000	977 - 1256	1.000
W	7	7		92EZ09	g	Failed						
W	7	7		TK92W07	h	730±80	1265±75	1272	1211 - 1311 1353 - 1384	0.932 0.138	1053 - 1081 1123 - 1138 1156 - 1405	0.022 0.013 0.965
E	2	7		TK92E02	h	1090±80	928±88	968	865 - 1020	1.000	719 - 741 759 - 1052 1082 - 1123 1138 - 1155	0.013 0.949 0.026 0.011
E	16	9		92EZ10	w	798±143	1185±118	1246	1043 - 1107 1112 - 1287	0.233 0.767	973 - 1417	1.000
E	8	10		92EZ11	h	878±144	1123±124	1167	1026 - 1259	1.000	882 - 1327 1334 - 1394	0.964 0.036
W	10	11		TK92W10	w	860±80	1149±72	1182	1048 - 1091 1119 - 1143 1153 - 1245	0.252 0.143 0.604	1023 - 1271	1.000
E	5	11		TK92E5	w	Failed						
W	11	12		92EZW11	w	1110±50	921±53	900 902 953	887 - 983	1.000	805 - 1013	1.000
W	14	13		TK92W14	w	1150±150	877±145	889	713 - 747 754 - 1010	0.100 0.900	618 - 1185	1.000
W	18	15	?	92EZW18	w	1020±50	1010±57	1012	959 - 1042 1109 - 1111	0.988 0.012	894 - 1057 1079 - 1124 1137 - 1156	0.871 0.092 0.037
W	15	15		92EZ12	w	1142±160	885±153	891	707 - 750 751 - 1016	0.118 0.882	621 - 1215	1.000
W	17	16	?	TK92W17	h	1160±80	859±86	886	784 - 963	1.000	687 - 1004	1.000
E	11	16		92EZ13	w	995±136	1027±135	1020	896 - 1173	1.000	727 - 733 767 - 1272	0.004 0.996
W	20	16		TK92W20	h	1270±80	767±79	716 743 757	669 - 816 843 - 853	0.948 0.052	633 - 899 909 - 947	0.968 0.032
E	12	17		TK92E12	w	880±150	1119±130	1166	1021 - 1263	1.000	867 - 1397	1.000
E	13	18		92EZ14	w	1013±129	1011±132	1014	893 - 1163	1.000	726 - 734 767 - 1263	0.005 0.995
W	21	20		TK92W21	w	920±80	1112±73	1047 1091 1118 1143 1153	1025 - 1179	1.000	987 - 1257	1.000
N	1	20		TK92N1	w	1050±80	976±91	991	884 - 1042 1111 - 1111	0.997 0.003	793 - 1162	1.000
W	22	23		92EZW22	g	5650±50	-4509±72	-4496	-4651 - -4651 -4578 - -4458 -4413 - -4407	0.005 0.959 0.036	-4665 - -4637 -4606 - 4364	0.063 0.937

14, 9層)とチャンネル堆積物(12, 10, 8層)に加えて静穏な環境を示す泥炭層(19, 16, 7, 5層), 粘土層(13, 11層), 砂層(15層)から構成される。6層は暗渠とみられる人工の石組みで, この直下の7層からは水差しの取手とみられる土器片も出土した。新期湿地堆積物下部の20~12層の年代は紀元8世紀~12世紀の範囲でばらつきが大きく, 逆転する年代もあるが, 逆転して古い年代を示すもの一部は, 20層またはそれ以下の層準から再堆積したとみられる木片の年代である。新期湿地堆積物上部の11~3層の年代は紀元11~14世紀のほぼ一致した年代を示す。

断層凹地堆積物は主トレンチ西壁面に限って現れる堆積物で, 先に述べたような不規則な形態をもつ断層面に由来する局地的な応力場による沈降の結果生じた凹地を満たす泥炭・腐植質の軟弱な堆積物である。黒色で腐植に富む堆積物(1層基底・2A層下部・2B層下部)とそれを覆う褐色の腐植質泥層が交互に堆積している。2C層から上の年代は, W3(92EZ04)だけが著しく古いこと, および補正の結果暦年代の幅が広がっていることをのぞくと, 2C層:14~15世紀, 2B層:13~17世紀, 2A層:16世紀以降でほぼ整合的である。

5. 地震イベントの認定

狭い断層帯に複数のイベントが重なり合って記録されているため個々のイベントによる変形構造の分離は容易ではない。しかし泥炭~強腐植層の間歇的な堆積と傾斜(西壁面:1A, 2A, 2B, 2C), 液状化(10-13層), 開口割れ目の形成と変形(W7.6-2.8付近), プリズム層(W8.2-1.5付近), 構造の不調和などに着目して少なくとも5回のイベントを識別することができる。

西壁面(図5, W7.6m-2.8m付近)に上部が横倒しになり, 断層で切られた割れ目が存在する。この割れ目は地震によって地表に開口して粘土で埋められた後に, 曲げられ, 断層で切られている。この割れ目を切った断層は最新のイベントでは動かずその右側を並行する断層が地表まで達して表土層を切っている(W7.7m, 地表)。このことから, この割れ目によって切られている9層堆積後, (1)割れ目を作ったイベント, (2)それを曲げたイベント, (3)それを切ったイベント, そして(4)地表を切った最新イベントの最大限4つのイベントを推定することができる。(3)と(4)は同時に起こった可能性もあるが, それ以外はおそらく別個のイベントを示すものと考えられる。

これらのイベントの発生時期を直接示す「切った・被われた」の関係を壁面から見いだすことはできないが, 2B層・2A層・1層にみられる黒色泥炭~強腐植層の間歇的な堆積と累積的な傾斜の増加をイベントと関連づけて解釈できる可能性がある。すなわち, これらの黒色泥炭~強腐植層は褐色の腐植質シルト層に比べて無機物の供給が少ない湛水域で形成されたとみられる。その堆積が間歇的であることは, 断層付近の凹地が地震によって急激に低下し湛水するような状況が想定できる。この湛水した凹地の底に

一時的に黒色泥炭～強腐植層が堆積した後褐色の腐植質シルトやチャンネル堆積物で凹地が埋められることが、地震の度に繰り返されてきたとみると、この堆積と変形の状況を説明することができる。この推論に基づき、間接的な証拠からではあるが、2 A層堆積後／1層堆積前、2 B層堆積後／2 A層堆積前、2 C層堆積後／2 B層堆積前の3つの時期にイベントが推定される。この3つのイベントは変形した割れ目から推定される3～4個のイベントに対応すると考えられる。この3つのイベントを上位のものから順にA、B、Cイベントと呼ぶ。9層から2 C層にかけての層準には明確なイベントの証拠を見いだすことができない。

Dイベント：10層の薄い砂礫層は、西壁面で波打つような激しい変形を受けているが、これは液状化による変形とみられる。粘土層をはさんで10層の上位にある9層下部の砂礫層にはこのような波状の変形は認められない。このことから、10層の液状化は9層最下部の時期に発生した地震によって引き起こされたが明らかである。この地震が発掘地点の断層ではなく、断層の別の部分で発生した可能性を全面的に否定することはできないが、10層の受けている激しい変形と、サンドダイク状の構造を伴うことからみて、この地点で断層が活動した可能性が高いと考えられる。

Eイベント：東壁面の断層帯で14層と16層の間には粗大な礫が挟まれている。この礫はチャンネル堆積物のようなマトリックスを持っておらず、断層南側の扇状地礫層が断層帯の中へ崩落した外観を呈する。この礫は地震に伴う低断層崖の成長と崩壊に対応し、イベントの時期を示している。西壁面の15層は、淘汰の良い中粒砂が断層近くで厚さを増すように堆積しており、堆積前に断層付近が低下するような変形があったことを示す。従ってこのイベントの時期は16層堆積後、15層堆積以前と推定される。

6. イベントの発生時期

各堆積物ユニットの年代・層序とA～Eイベントの層準・推定年代を図8に示した。なお、これらの年代値には $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比にもとづく補正を加えていないので、暫定的な値である。また、図8および以下の議論は予察的なものであることを断っておく。

イベントA：15世紀以降1943年以前である。イベントA発生時期の上限を示すW1 (92EZ01)の年代値から見て、1層の堆積期が1939年以降である可能性はきわめて低いといえる。W1 (92EZ01)とW2 (92EZ03)の年代値の確率分布(表1)からみて、イベントAが18世紀に発生した可能性は高く、BARKA (1992)の指摘した1784年の地震に対比が可能である。

イベントB以下の地震の年代は、イベントBが16～17世紀、イベントCが14～16世紀、イベントDが11～12世紀、イベントEが9～10世紀頃と推定できる。平均地震再来間隔は200～250年の範囲である。

今後追加の年代測定や、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比にもとづく補正、層序の情報を加味した年代値の再検討 (BIASI and WELDON, 1994 in press)を行って各イベントの時期をより精密に決

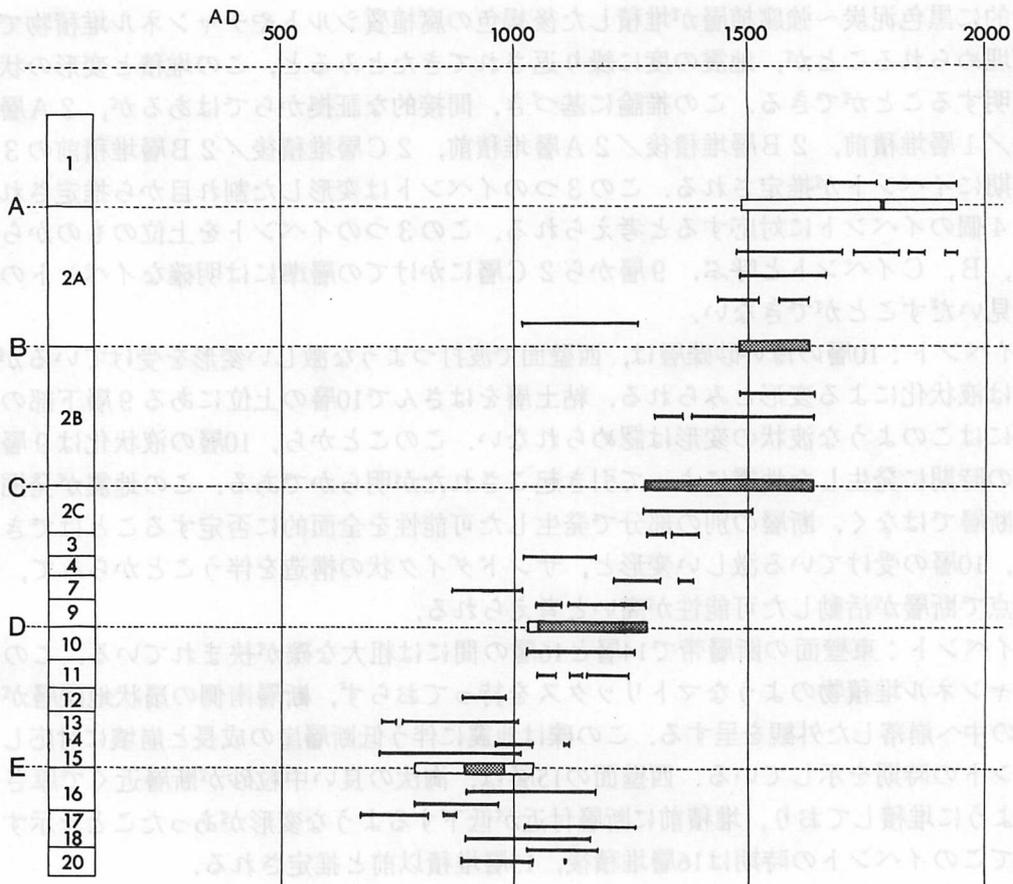


図8 各イベントの層位と年代を示すダイアグラム (予察図)

Fig. 8 Preliminary schematic diagram and the horizon and age of earthquake events.

定する必要がある。この時点では、予察的なイベントの年代から次の点を指摘することができる。

1. エルジンジャン東方の北アナトリア断層は1939年、1992年には活動していない可能性が高い。最新の活動時期はBARKA (1992) の指摘したように、1784年の地震に対比がされるものとみられる。

2. したがって、エルジンジャン東方の北アナトリア断層を地震空白域とみなすことができる。1784年に最新イベントが起こったとすると、その後の経過時間は210年で、トレンチから推定された平均地震再来間隔200~250年の84~105%に相当する。このことは、北アナトリア断層のこのセグメントを震源とする地震が近い将来発生する可能性を示唆する。

3. このトレンチから求められた平均再来間隔は、1944年震源断層から求められた平均再来間隔220~280年(吉岡ほか, 1991)よりも幾分短い。また、個々の地震の発生時期も必ずしも一致しない。このことは、今世紀半ばに断層が東から西へ一連の地震で破壊したことが、偶然の一致であるかまたは1939年の震源断層より西の北アナトリア断層に限って発生するかいずれかであることを示している。

これらの仮説と問題点の検証のため、各イベントの発生時期の特定をすすめるとともに、まだ古地震の情報の得られていない1939年(1993年10月にトレンチを掘削した)、1943年地震断層の過去の地震発生時期を解明することが必要である。

謝辞

この研究を実施するに当たって、国際協力事業団・同長期派遣専門家(在アンカラ)藤井紀之氏・在アンカラ日本大使館・MTA関係各位から多大なご助力を戴いた。名古屋大学年代測定資料研究センターでの試料調製と測定においては、名古屋大学文学部地理学教室の浜出智氏・大平明夫氏にお世話になった。ここに記して謝意を表します。

文献

- AMBRASEYS, N.N. (1970): Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, **9**, 129-142.
- AMBRASEYS, N.N. (1971): Value of historical records of earthquakes, *Nature*, **232**, 375-379.
- AMBRASEYS, N.N. (1988): Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **17**, 1-105.
- AMBRASEYS, N.N. and FINKEL, C.F. (1988): The Anatolian earthquake of 17 August 1668. in *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*, ed. by W.H.K. Lee, H. Meyers, and K. Shimazaki, Academic Press, San Diego, 173-180.
- AMBRASEYS, N.N. and FINKEL, C.F. (1991): Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region, *Terra Nova*, **3**, 527-539.
- BARKA, A.A. (1992): The North Anatolian fault zone. *Annales Tectonicae*, **6**, 164-195.
- BIASI, G.P. and WELDON, Ray J. II (1994, in press): Quantitative refinement of Calibrated ^{14}C distributions, *Quaternary Research*, 41.
- ERDIK, M. (1992): Overview, in *March 13, 1992 (Ms=6.8) Erzincan earthquake: a preliminary reconnaissance report*, Bogazici Univ., Istanbul, 1-2.
- IKEDA, Y., SUZUKI, Y., HERECE, E., SAROGLU, F., ISIKARA, A.M., and HONKURA, Y. (1991): Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian fault zone in the Mudurnu Valley, western Turkey. *Tectonophysics*, **193**, 335-345
- KETIN, I. (1969): Über die nordanatolische Horizontalverschiebung, *Bull. Mineral Res. Explor. Inst, Turkey*, **72**, 1-28.
- 文部省災害研究班(1992): 1992年トルコ・エルジンジャン地震—地域地震活動と土

木・建築構造物の被害および緊急対応—, (財)各務記念財団, 85p.

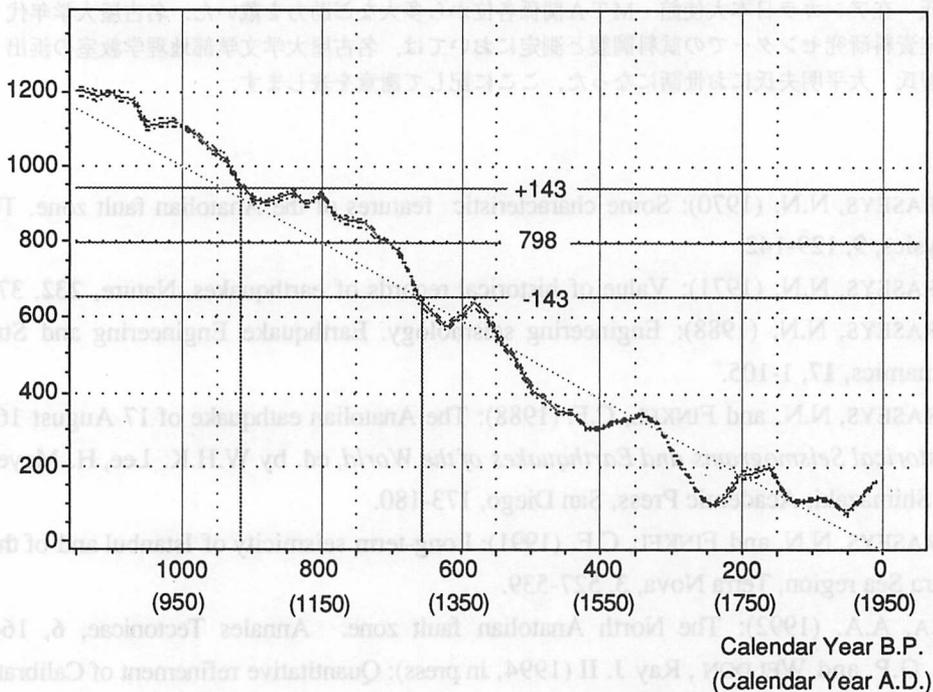
NIKLAUS, T.R. (1991): CalibETH version 1.5, ETH, Zürich, 2 diskettes and 151p.

OKUMURA, K., YOSHIOKA, T., KUSCU, I., KAYANNE, H., and SUZUKI, Y. (1990): Activity of the North Anatolian fault during these two millennia on the surface faults of 1944 earthquake based on trenching and microtopographic studies. EOS, 71, 1560.

STUIVER, M. and PEARSON, G.W. (1986) High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-500BC, Radiocarbon, 28, 805-838.

吉岡敏和・奥村晃史・KUSCU, I. (1991): 北アナトリア断層西部における過去2000年間の地震再来周期と変位速度. 地震学会講演予稿集, 1991-1, 80.

^{14}C age B.P.



付図 800 A.D.から現在までの年輪年代を用いた補正曲線. STUIVER and PEARSON (1986)のデータをもとに NIKLAUS (1991)で作図したものに加筆した. 図中の曲線は平均値を示す実線と, 標準試料分析時の統計誤差を示す2本の破線から構成されている. 左上がりの点線は ^{14}C 濃度が一定の場合 (^{14}C 年代と暦年が等しい)を示す. 例として E16 (92EZ10, 798 ± 143 ^{14}C yr B.P.)の暦年を示す.

Plate Radiocarbon age calibration curve, 800 A.D. to 1950 A.D. Original data prepared by STUIVER and PEARSON (1986) are plotted using NIKLAUS (1991). Labels and lines are modified by the author. The curve consists of average (solid line) and broken lines above and below showing the error range of the original analyses. Dotted oblique line indicates the ideal condition of constant radiocarbon concentration through time. Calibration of E16 (92EZ10, 798 ± 143 ^{14}C yr B.P.) is shown as an example.

Recent Surface Faulting on the North Anatolian Fault East of Erzincan Basin, Turkey -- a Trenching Survey

KOJI OKUMURA and TOSHIKAZU YOSHIOKA

Geological Survey of Japan, Tsukuba, Japan. kojiok@gsj.go.jp

ISMAIL KUSÇU

Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey

TOSHIO NAKAMURA

Dating and Materials Research Center, Nagoya University, Nagoya, Japan

YASUHIRO SUZUKI

Aichi Prefectural University, Nagoya, Japan

Although the 1992 Erzincan earthquake (1992. 3. 13, $M_s=6.8$) did not generate any tectonic surface rupture, it raised questions about the paleoseismology of the North Anatolian fault in and around the Erzincan Basin. During the 1939 Erzincan earthquake (1939. 12. 26, $M_s=7.8$), the fault rupture did not reach further east than the Erzincan Basin. Recent study into historic records indicates a 75km long segment east of the basin has been quiet since 1784 A.D. In order to evaluate the supposition and earthquake potential of the area and to reveal the segmentation of the fault in time and space, we excavated two trenches near the western end of the inferred seismic gap approximately 30 km east of Erzincan city. At the trench site, the fault displaces an alluvial fan surface to dam up fine sediments with upper-reach facing fault scarplet. A 3 meter deep trench and another 1.5 meter deep trench exposed sequence of stratified fine sediments of these about 1200 years. We identified five horizons of coseismic deformation indicated by incremental tilt of peat layers, deformed fissure, and paleoliquefaction. The sediments appeared in the trench bore a number of datable material in almost all horizons. 30 samples among all 50 samples collected were submitted to radiocarbon dating, including 17 AMS dating. Our preliminary estimation of the age of the last event is 17 to 19 c. A.D. consistent with the possible 1784 A.D. last event. Average recurrence time is estimated as 200 to 250 years. The 1939 surface rupture probably did not reach the trench site. The age of each event does not agree with the age estimates of events on the 1944 segment, where 8 events were dated since 0 A.D. There might have been one more event on this segment than 1944 segment during the last millennium, which indicates either overlapping of the surface ruptures on the two segments or higher activity in the eastern part of the North Anatolian fault than the western part. Paleoseismological data might suggest that the epicentral migration observed in this century had not been repeated itself and recurrence time might be different from segment to segment.

関連発表リスト (著者・発表順)

奥村晃史・吉岡敏和・I. Kuscü (1993) 北アナトリア断層のトレンチ調査—エルジンジャン東方サルカヤ)—地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集, p. 269.

奥村晃史・吉岡敏和・I. Kuscü (1993) 北アナトリア断層のトレンチ調査 (エルジンジャン東方サルカヤ), 日本地理学会予稿集, 43, p. 186-187.

K. Okumura, T. Yoshioka, I. Kuscü, T. Nakamura, and Y. Suzuki (1993) Recent Surface Faulting Along the North Anatolian Fault East of Erzincan Basin, Turkey - a Trenching Survey. EOS, Transactions, American Geophysical Union, vol. 74, no. 43, p. 545.

奥村晃史・吉岡敏和・I. Kuscü (1993) エルジンジャン盆地の北アナトリア断層, 地質ニュース, 第471号, p. 26-33.

奥村晃史・吉岡敏和・I. Kuscü (1994) トルコ・北アナトリア断層の歴史時代の活動, 地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集, 印刷中.

吉岡敏和・奥村晃史・I. Kuscü (1993) トルコ東部, エルジンジャン盆地とその周辺の北アナトリア断層, 地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集, p. 269.

吉岡敏和・奥村晃史・I. Kuscü (1993) トルコ東部, エルジンジャン盆地周辺の北アナトリア断層, 日本地理学会予稿集, 43, p. 184-185.