

北アナトリア断層のトレンチ発掘調査

吉岡敏和¹⁾・奥村晃史²⁾・İsmail Kuşçu³⁾

1. はじめに

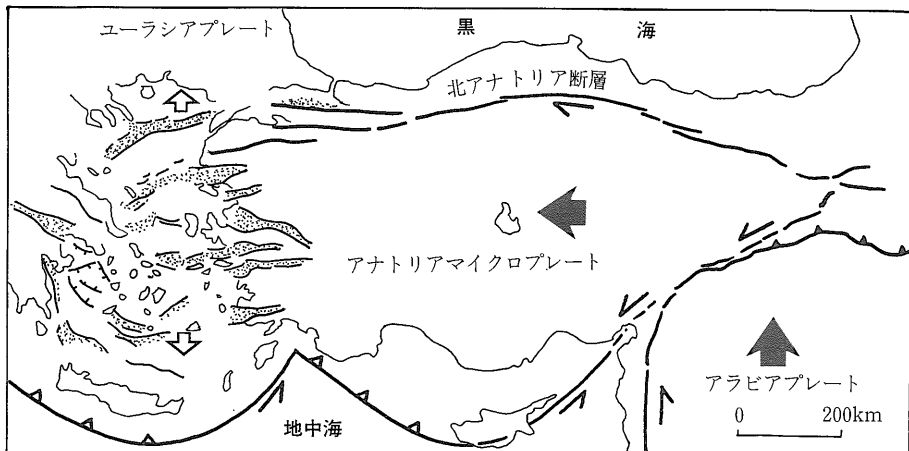
筆者のうち吉岡と奥村は、国際協力事業団 (JICA) の短期派遣専門家として、1990年3月22日から5月27日の間、トルコ共和国に滞在して、活断層の地質学的研究について、研究指導、技術協力を行った。

地質調査所では、昭和57年度より6年間にわたって、通商産業省の国際産業技術研究 (ITIT) 事業の一つとして、トルコ鉱物資源調査開発庁 (MTA) と活断層と地震予知に関する研究協力を進めてきた。この協力関係は昭和63年度から JICA の専門家派遣事業に引き継がれ、まず1989年3-5月に奥村がトルコに滞在して写真判読・現地調査を行った。今回の派遣では、ITIT 計画で培われた協力関係を土台に、北アナトリア断層での地震予知に不可欠な断層活動性に関する具体的な資料を収集することを目的として、活断層のトレンチ発掘調査を中心に、地形・地質学的調査研究を行った。

2. 北アナトリア断層とトルコのテクトニクス

北アナトリア断層はトルコ北部を東西に縦断する右横ずれの活断層で、全長は約1200kmに及ぶ。この断層はユーラシアプレートとアナトリアマイクロプレートの境界にあたり、南側のアナトリアマイクロプレートがユーラシアプレートとアラビアプレートにはさまれて、西に押し出されるように移動する運動を反映している (第1図)。断層に沿っては直線状の谷地形が連続しているが、低断層崖や小河谷のオフセットなどの新鮮な変位地形は必ずしも明瞭ではない。そのため地形や地質をもとに第四紀末期の平均変位速度を求める試みはほとんど行われていない。

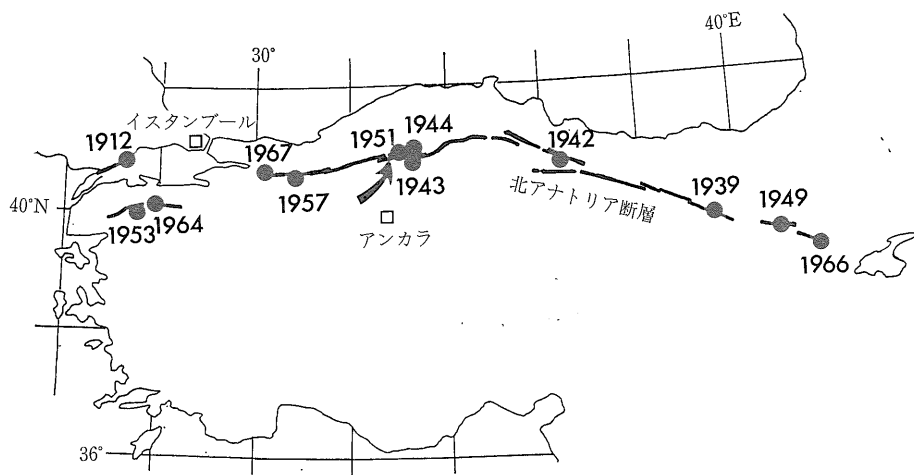
この北アナトリア断層では、1939年のエルジンジャン地震を皮切りに、1967年のムドルヌ川地震まで、震源が徐々に西に移動しながら数年から10数年おきに7個の大地震を発生させている (第2図)。しかし、19世紀以前の断層活動については十分な記録がなく、Ambraseys (1970)



第1図 トルコ周辺のプレート運動と北アナトリア断層 (Şengör, 1979 を一部改変)。

- 1) 地質調査所 地質部
- 2) 地質調査所 環境地質部
- 3) トルコ鉱物資源調査開発庁 (MTA)

キーワード: トルコ, 北アナトリア断層, トレンチ発掘調査



第2図

北アナトリア断層付近で今世紀に発生した主な地震 ($M \geq 6.5$) の震央と地震断層の分布.

(Ambraseys, 1988)

矢印はトレンチ発掘調査地点

は歴史記録から75年ないし150年の休止期をばさんで活動が繰り返されてきたと推定しているが、地震の発生時期や再来周期については不明な点が多い。なお、Ambraseys and Finkel (1988) は西暦1668年に北アナトリア断層中部の約400 km が一度に活動した可能性を示している。また、Ikeda (1988), Ikeda et al. (in press) は北アナトリア断層西部の2地点でトレンチ発掘調査を行い、1967年ムドルヌ川地震の地震断層でのトレンチでは、前回の活動年代を西暦1650±20年と推定している。

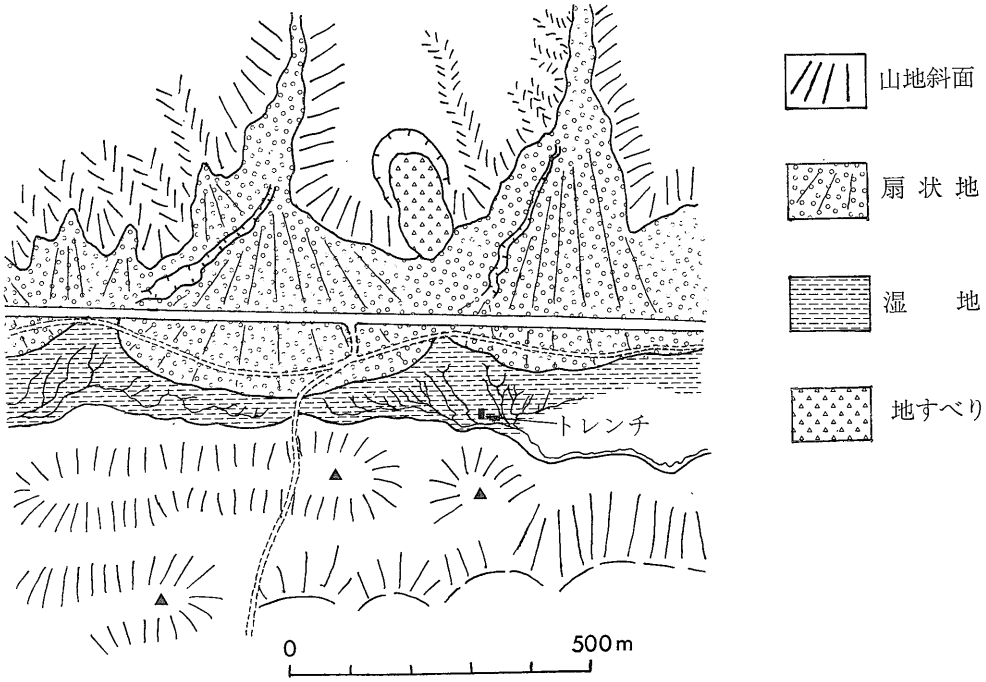
3. 掘削地点の選定

トレンチ発掘調査とは、活断層上に調査溝を掘削し、そこに現れた最近数百年～数千年間の断層活動の痕跡を観察することにより過去の地震発生時期を特定するために行うものである。断層運動による地層の変形は、断層に沿う狭い範囲に限られるため、トレンチ発掘調査でなんらかの成果を得るためには、トレンチの掘削地点の選定が最も重要である。トレンチの規模は通常、長さ10–20 m、幅約10 m、深さ3–4 m程度であるため、まず断層の通過位置を数m以内の誤差で特定しなければならない。また、断層の活動年代を求めるために、年代測定の可能な木材や腐植などの有機物を含んだ新しい地層が連続して堆積している必要がある。このような条件を満たす場所を探すためには大縮尺の空中写真の判読が有用かつ必須である。筆者らはトルコ滞在期間の前半約1カ月をかけて、北アナトリア断層西部の約300 kmの区間の1万分の1空中写真(MTA撮影)を判読し、断層変位地形についての基礎的なデータを収集するとともに、掘削地点の選定を行った。北アナトリア断層は横ずれ変位の卓越する断層であるので、地形に表れるような垂直成分をもつ変位地形は必ずしも明瞭でない。また、地層が連続

して堆積して過去の変位を覆うような場所の方が掘削には好条件である。したがって写真の判読にあたっては、地面のわずかな色の違いや高さ1 m以下の崖ですら見落とすことはできない。筆者らは数千枚に及ぶ空中写真の山を前にして黙々と判読作業を進めた。その結果、アンカラ北方約100 kmのゲレデの町の周辺で、いくつかの候補地を見いだすことができたのである。

このゲレデの町を挟んだ約200 kmの区間は、1944年ボルゲレデ地震断層が出現したことが知られており(Ambraseys, 1970)、空中写真では断続的にリニアメントが認められる。リニアメントに沿っては低断層崖や河谷のオフセット(Allen, 1969)、完新世の扇状地を変位させている小地溝など(奥村ほか, 1989)も観察され、このリニアメントが1944年も含めて繰り返し活動した活断層であることが確認できる。また、このリニアメントのほかには、並走したり分岐する活動的なリニアメントは認められない。このことは、掘削の対象となる断層が、北アナトリア断層のこの区間から大地震が発生する度に活動してきた可能性が高いことを示し、もしトレンチから最新の断層活動史を明らかにできた場合、記録に欠落がないことが保証される。

そこで、このリニアメント上で、有機物の堆積物が連続して堆積していそうな湿地数カ所に着目し、トレンチの候補地とした。そして、これらの候補地においてハンドオーガーを用いて簡易ボーリングを行い、有機物の存否や堆積の状況、地下水位等を検討して、掘削地点をしばり込んだ。そして最終的に、ゲレデの東方約12 kmの地点が最も条件の良い場所と考え、トレンチの掘削地点に決定した。この地点は断層谷の谷底に位置し、断層の北側の山地から流下する河川が作った合流扇状地と南側の丘陵にはさまれた、湿地の中の微高地にあたる(第3図, 写真1)。断層による垂直変位はほとんど認められな



第3図
調査地点周辺の
地形。



写真1 トレンチ予定地点を南から望む。
矢印の間にリニアメント(断層)が見える。
スケールは4 m。

いが、空中写真では白黒の階調の違いによるリニアメントがはっきりと読み取れ、湿地をわずかに開析する水路に数mの右横ずれを示す屈曲が認められた。さらに、この堆積物が植物片や陸棲貝の貝殻を含む粘土と砂礫の互層からなり、断層をはさんで上下に食い違っていることがボーリングによって推定できたのであった。また、幹線道路からも近く、掘削機械の搬入も容易であること、地下水の湧出があまり多くないことも掘削にとって都合が良かった。

4. 掘削準備

掘削の準備は、まず、トレンチとは如何なるものかを説明することから始まる。円滑に調査を進めるためには現地の方々の理解を得ておかなければならない。筆者らはまずゲレデの町役場を訪ね、İsmail がトルコ語で活断層のトレンチ調査の概要とその重要性について詳しく説明した。その結果、町長、土木部長をはじめ多くの人々がトレンチ調査に関心を示され、掘削機械の手配や資材・作業員の手配など、多大な協力をしていただくことが可能となった。これには町が活断層の真上に位置するという土地柄に加え、かつて科学者を志したという町長の人柄に負うところが大きい。

トレンチ掘削では、まず断層線を横切って幅1 m程度のテストピットを掘削し、断層の位置を確認してから本トレンチの掘削にはいるのが普通である。今回も当然その方法をとることにした。

5月1日に現地入りしてから連日季節はずれの雪に見舞われたが、天候の回復を待ちきれず、5月4日、ゲレデ町の土木部長にお願いして小型のショベルカーを手配してもらい、テストピットの掘削を始めることにした(写真2)。推定した断層線を横切るように調査地の端から掘り始め、予定した長さの約半分まで掘り進んだとき、壁面の堆積物に不連続が認められた。そしてその部分をさらに掘り下げ、断層であることを確認した。断層はほぼ予想どおりの位置に認められた。また、テストピットを



写真2 雪の中でのテストピット掘削。

観察した限り、断層は1カ所のみであった。

断層を確認して、いよいよ本トレンチを掘削するところまで来たが、雪は相変わらず降り続き、積雪量はゲレデの街でも20cm近くに達した。その中で筆者らは調査用資機材の調達に奔走しなければならなかった。まず掘削用の機械であるが、テストピットの掘削に用いた小型の機械では、軟弱な地盤のなかで、本トレンチを掘削することができないため、どうしても中型のバックホーが必要である。この機械の調達を引き受けて頂いたゲレデ町長は、筆者らと共に半日を費やして、必要とする機械が借りられるよう国道工事事務所や土木工事業者に折衝して下さった。一方、掘削用の資材については、ほとんどのものはアンカラおよびゲレデの商店でたやすく購入することができた。ただ、トレンチ整形用のじょれんは適当なものがなく、鍛冶屋に頼んで作ってもらうことになった。しかし、単にじょれんと言っても鍛冶屋にわかってもらえるはずはなく、筆者らは簡単な図面を作って依頼したのだが、いざ出来上がってみると重すぎて使うのに苦労することになった。さらにトレンチ調査には、はしご、踏み板などの木製品が必需品であるが、トルコでは森林資源に乏しいためか、相対的に木材の価格が高く、質も良くないものであった。特にはしごは既製品が簡単に入手できないため、建具店で一つ一つ作ってもらわなければならない。筆者らは町の土木部長にも協力してもらい、何軒も建具店を訪ね、値段の交渉を重ねた。それでも結果的に木製のはしごと脚立に大きな出費を強いられることになった。

5. いざ掘削

そうこうしているうちに5日間降り続いた雪もようやくおさまり、春らしい日差しの中で、5月8日、本トレ

1991年4月号

ンチの掘削を始めることになった。筆者らが現地に入ってからちょうど1週間が過ぎていた。掘削を依頼した土木工事業者によれば、昼頃に掘り始めれば夕方には掘りあがるだろう、と至って楽観的であったが、バックホーが現場に到着し、掘削を開始したのは、陽も傾き始めた午後3時であった(写真3)。結局その日は半分程度掘削しただけで、掘削を終了せざるを得なくなってしまった。

翌朝現場に出てみると、案の定、掘りかけのトレンチは地下水の湧出によってプールと化している。筆者らは持参したエンジンポンプを用意し、溜った水の汲み出しから作業を始めなければならなかった(写真4)。そしてバックホーはと見ると、バッテリーがあがったらしく、全く動こうとしない。しかし彼らは慌てる様子もなく、こちらの苛立ちをよそに、悠々と応援の仲間が来るのを待っているのである。まさにトルコペースで時間が流れていく。掘削を再開することができたのは、実に昼を過ぎた頃であった。

またトレンチの壁面は、崩壊の防止のため、45°の傾



写真3 いよいよ本トレンチの掘削開始。

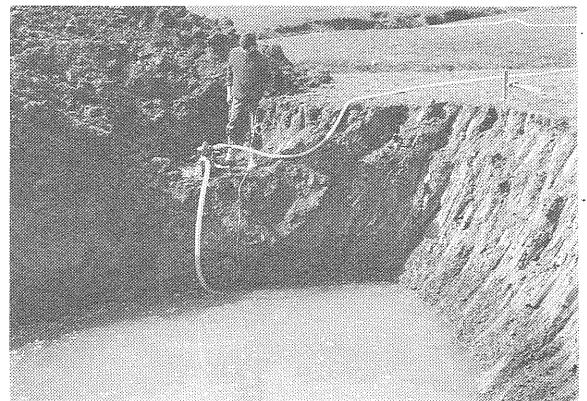


写真4 地下水の湧出でプールと化したトレンチ。この直後、ポンプが水中に落下した。

斜をつけるが、ところがこのバックホーのオペレーターは、機械の位置を変えずにアームの動きだけで壁面を作ろうとするため、どうしても弧を描いて削ってしまい、平滑な壁面を作ることができない。何度も注文をつけ修正してもらうのであるが、その度に壁面は後退し、結果的には予定より2mも幅の広いトレンチができあがってしまった(写真5)。

9日午後4時、何とかバックホーによる掘削が終了、トレンチの概形が完成した。トレンチの規模は長さ12m、幅10m、深さ最大3mで、壁面の傾斜は35°~45°でやや不揃いである。掘り上がったばかりの壁面にはまだバックホーの爪痕が残り、泥がはりついているが、トレンチの中央で地層が食い違っているのをはっきりと認めることができた。この食い違いこそ北アナトリア断層そのものなのである。

5月10日、3人の作業員に来て頂き、人力で壁面の整形を行い(写真6)、最後にポンプを使って余分な泥など



写真5 掘り上がり間近のトレンチ。バックホーのツメ跡で断層は見えない(西側壁面)。

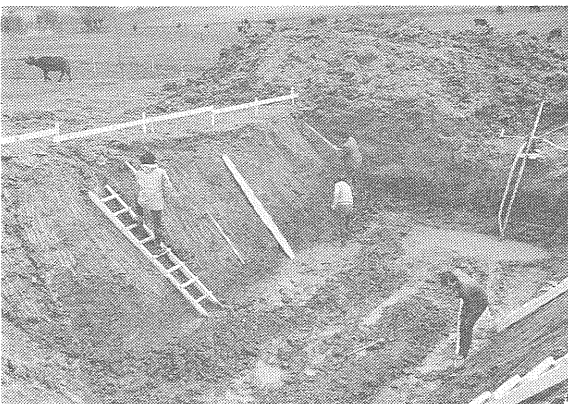


写真6 人力による壁面の整形作業。後方では牛のんびりと草をはむ。

を水で洗い落とし、そして、壁面に縦横1m間隔で糸を張り、グリッドとした。これまでの予定の遅れを取り戻すべく、着々と作業を進め、翌11日にはなんとか壁面の観察・スケッチを開始するに至ったのである。

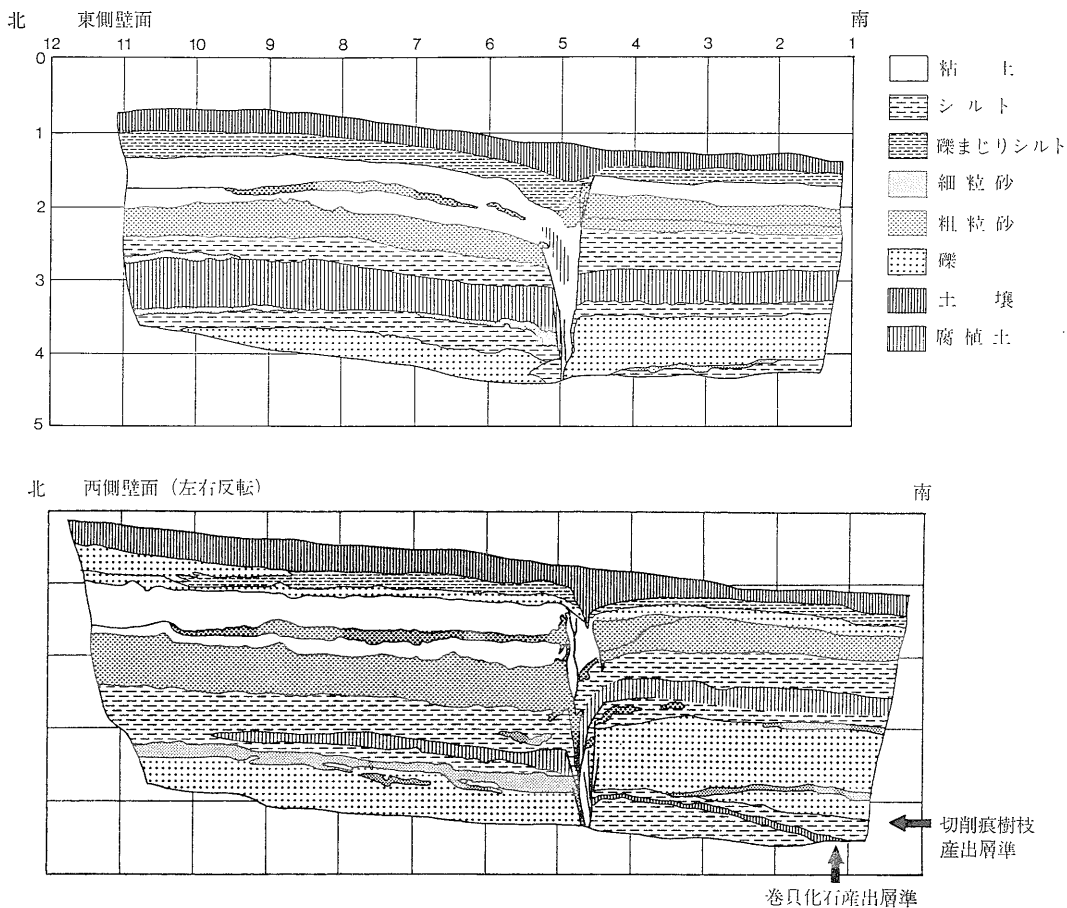
6. 調査の結果

断層はトレンチのほぼ中央に明瞭に現れた。トレンチの底付近で断層面は2面に分岐し、くさび形の断層帯を形成している(第4図)。断層帯には両側の堆積物が引きずり込まれたり、落ち込んだりしており、さらに小断層で複雑に変形している。また、西側の壁面では液状化したと考えられる砂が断層帯に沿って貫入しているのが認められる。断層は現世の土壤の基底までを変位させており、1944年の地震の際の変位までを壁面で読み取ることができる(口絵参照)。

堆積物は、トレンチ底付近に分布する扇状地成の礫層と、シルト・粘土層および洪水堆積物の砂礫層からなっている。腐植質の堆積物からは、簡易ボーリングの結果から予想したとおり、大量の木片および巻貝化石が産出した(口絵参照)。さらに扇状地礫層の下位の地層(第4図に示す)からは、鋸による切削痕のある樹枝や、瓦もしくは磚とみられる土製品が出土した。これらによりトレンチに露出した地層のほとんどが有史時代以降の堆積物であることが現地で確認できた。

断層をはさんでの各層の見かけの垂直変位は、上部の層では北側隆起であるのに対し、下部の層では南側隆起を示す。また、いくつかの層準で断層をはさんで層厚・層相の変化が認められる。これらのことは断層運動が横ずれ成分の卓越するものであったことを示している。筆者らは断層の現れた壁面をネジリ鎌を使って丁寧に観察し、20分の1のスケールで詳細なスケッチを作成した(写真7)。トレンチは調査が終了すると埋め戻される運命にあるため、このスケッチと写真のみが貴重な調査記録となるのである。

壁面の観察の結果、断層による変形の形態や地層の層厚の変化から、トレンチ壁面で観察される限り、この断層は最大8回の地震を発生させたことがわかった。またトレンチ下部の腐植土層から産出した巻貝化石の¹⁴C年代は、測定の結果、紀元前20±80年となった(地質調査所海洋地質部 茅根 創氏の測定による)。すなわち、この8回の地震は過去2000年足らずの間に繰り返し発生したことが明らかになったのである。この結果は、北アナトリア断層を震源とする地震の歴史を解明する上で、きわめて重要な資料となるものである。今後、他の層準の試料から得られた年代値をもとに詳細な活動史を解明してい



第4図 トレンチ東西両壁面のスケッチ。
20分の1スケッチをもとに簡略化し、45°の斜面に投影した。グリッドは1m間隔。



写真7 詳細に壁面のスケッチをとる (西側壁面)。



写真8 壁面に現れた断層を観察する MTA からの見学者。はしごの左側に断層が見える (東側壁面)。

く予定である。

7. おわりに

今回のトレンチ調査は、MTA にとっては初めての経験であり、地質調査所にとっても海外での初めてのトレンチ調査であった。それにもかかわらず、カウンターパートとの緊密な協力により、短期間ながら数多くの成果を示すことができ、トルコの地震予知に大きく貢献できたと信じている。

最後に、このような成果をもたらした技術協力を可能にして下さった国際協力事業団の方々、貴重な時間をさいて調査の便宜を図って頂いたゲレデ町長および土木部長、トルコ滞在中に公私ともにお世話になった藤井紀之氏、¹⁴C年代を測定して頂いた海洋地質部の茅根 創氏に心から感謝します。

文 献

Allen, C. R. (1969): Active faulting in Northern Turkey. California Inst. Technology Contr., 1577, 1-32.
 Ambraseys, N. N. (1970): Some characteristic features of the Anatolian fault zone. Tectonophysics, 9, 129-142.
 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. Historical Seismograms and Earthquakes of the World, 173-180.
 Ikeda, Y. (1988): Recent activity of the İznik-Mekece Fault at Corak Stream, east of İznik. Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone, 15-26.
 Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., İşikara, A.M. and Honkura, Y. (in press): Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian fault zone in the Mudurnu Valley, western Turkey. Tectonophysics, in press.
 奥村晃史・Kuşçu, İ・Erendil, M・Özdemir, H. (1989): トルコ、北アナトリア断層西部の変動地形. 地理予, no. 36, 216-217.
 Şengör, A. M. C. (1979): The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. Jour. Geol. Soc. Lond., 136, 269-282.

YOSHIOKA Toshikazu, OKUMURA Koji and İsmail KUŞÇU (1991): Trench excavation of the North Anatolian Fault, Turkey.

<受付: 1990年11月6日>

ジャパンストンフェア'91

会期: 1991年7月11日(木)~14日(日)
 会場: 日本コンベンションセンター(幕張メッセ)
 入場料: 1,000円

生活様式の高級化、本物指向と共に天然石材の需要が急速にのびております。特に先カンブリア時代に至る豊富な産地を背景にした外材は多様なバリエーションを持ち、その輸入量は急速にのびております。この様な時期に日本で初めてストーンフェアが開かれることは時期を得た企画と言えます。

ストーンフェアは大理石の産地イタリアを中心に、カラー大理石フェア(5月)、ペローナフェア(9月)などが世界的に有名で、他にスペイン、ドイツ、カナダなどで毎年開催されています。これらはいずれも石材生産地であり、今回消費国の日本で初めて開かれることは大変興味深く、国際的にも注目されております。

