

## MTA (トルコ鉱物資源調査開発総局) による 1999年11月12日デュズジェ地震に関する 野外調査とプレ評価報告 (1999年11月16日)

Ö. エムレ<sup>1)</sup>・T.Y. ドウマン<sup>1)</sup>・A. ドアン<sup>1)</sup>・Ş. アテシュ<sup>1)</sup>・M. ケチェル<sup>1)</sup>  
T. エルカル<sup>1)</sup>・S. オザルプ<sup>1)</sup>・N. ユルドウルム<sup>1)</sup>・N. ギュネル<sup>1)</sup>  
訳: 平野 英雄<sup>2)</sup>・吉岡 敏和<sup>3)</sup>

### 1. はじめに

1999年11月12日金曜日18時57分(トルコ現地時間, +2h UTC)に, トルコ北西部のデュズジェ(Düzce)とその周辺に人命被害をもたらしたマグニチュード7.2の地震が発生した。デュズジェの中心からボル(Bolu)にかけて被害をもたらした地震の揺れは, 西アナトリア地方全体でも感じられた大きなものであった。

MTAの自然災害調査グループは, 1999年8月17日の東部マルマラ地震(イズミット地震またはコジャエリ地震とも称する)についての野外調査を完了し, 1週間前に本部に戻っていたが, 新たな事件(地震)の発生により, 翌日の14時には現地に到着し, 新たな調査を開始した。このプレ評価報告書は, 地震被災地での最初の2日間で作成されたもので, 野外での観察結果と, 観察から引き出されたものをとりまとめた予察的結論を含んでいる。

### 2. デュズジェ地域の活断層

MTAでは, 1970年代から, 地震発生ポテンシャルをもつ活断層の分布図の作成, および活断層を地質学的に認定するためのプロジェクトを実施してきた。これらのプロジェクトには, 1987年発表のトルコ活断層(確実活断層)図の作成も含まれている。この活断層図には, 地震発生ポテンシャルについても表現されている(Şaroğlu ほか, 1987)。この

活断層図は位置を示しただけの地図ではあるが, 1992年版が出版されると, 国内および国際レベルで大きな関心を引いた(図;省略)。これら2つの地図には, 11月12日の地震を引き起こし, また8月17日の地震ではその西部区間が破壊したデュズジェ断層が, 明確に示されている。

地図発表後にMTAが行った現地調査で, この断層の延長部であるヘンデック(Hendek)断層が地震発生ポテンシャルをもつ活断層であり, まだ静止した状態を保っていることが確認された。さらに8月17日の東部マルマラ地震の後に詳細な野外調査研究が実施され, 8月17日の地震によるデュズジェ断層とヘンデック断層付近の応力変化が示され, 間接的にこれらの断層に起因する地震の発生リスクが高まっていることが強調された。また次の地震が8月17日の地震発生域の40km東の地区に起こり得ることが, いくつかの地図で示されていた(Emre and Duman, 1999; Emre ほか, 1999a, b, c) (第1図)。

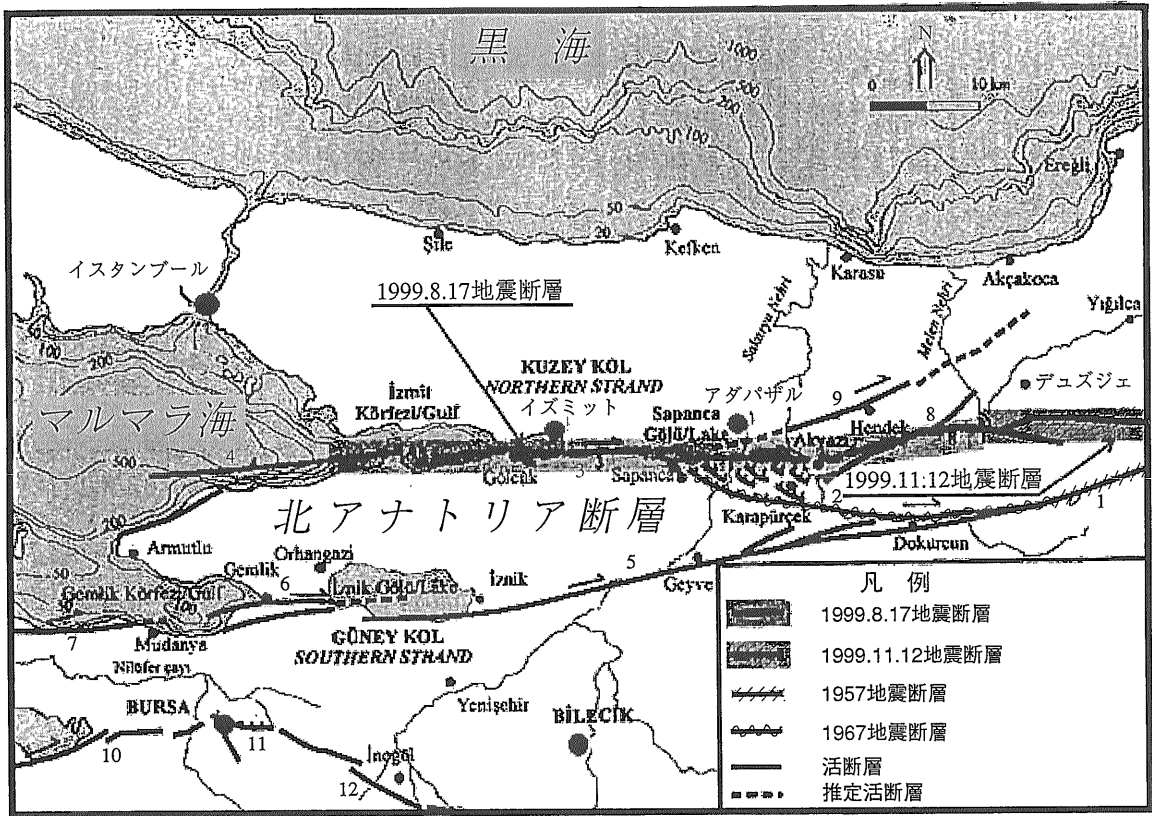
最近, 8月17日の地震後に出された大統領官邸の通達と首相直達により, TUBITAK (トルコ科学技術庁)が企画・調整し, MTAとアンカラ大学共同による調査報告書が提出された。この報告書は, デュズジェの居住に関して新都市建設のために地質学的により安全な地盤を特定するために提出されたもので, 報告書の中には, デュズジェ断層東部の40kmにわたる区間で, 近い将来大破壊をもたらす規模の大きな地震が発生することが強調されて

1) MTA (トルコ鉱物資源調査開発総局):  
06520 Ankara Turkey

2) 地質調査所 資源エネルギー地質部

3) 地質調査所 地震地質部

キーワード: トルコ, デュズジェ地震, 地震断層, ガス噴出, 被害, 提言



第1図 東部マルマラ地域の活断層と1999年8月17日と11月12日の両地震に関する断層。Emreほか(1998)を一部修正。北アナトリア断層帯(1-12)

- |                 |                   |                     |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 1 アバントセグメント;    | 2 コクジュンセグメント;     | 3 イズミット-アダバザルセグメント; |
| 4 チュナルジュクセグメント; | 5 ゲイペーイズニックセグメント; | 6 ゲムリックセグメント;       |
| 7 ゼイチンパーセグメント;  | 8 デュズジェ断層;        | 9 ヘンデック断層;          |
| 10 ウルバト断層;      | 11 ブルサ断層;         | 12 エスキェヒル-ブルサ断層帯。   |
- (ウェブサイトからダウンロードしたものに加筆修正。以下同)。

いる。この報告書は1999年11月10日に当局に提出されたが、その2日後に地震が発生してしまった。

### 3. 地表地震断層についての野外観察

1999年11月12日の地震、すなわち予測されたデュズジェ断層の活動は現実に発生した。デュズジェ断層は、アクヤズ(Akyazi)からボル山トンネルまで、東西方向におよそ73kmの長さがある。8月17日の地震では、デュズジェ断層西部のアクヤズ-ギョルヤカ(Gölyaka)間の30kmほどの区間が活動したが、11月12日の地震では、この断層のうちギョルヤカより東の43kmほどの区間が活動した(第2図)。この地震断層はギョルヤカの西から始まって

いる。ここからエフテン(Eften)湖南岸にいたり、カイナスル(Kaynaslı)へ直線的に連続する。カイナスルの地区内から、交通量の多い国道E5号線をほぼ東西方向に横切り、TEM高速道路の東近くで2つの支脈に分かれている。断層は、アサルスユ(Asarsuyu)谷の5kmのところでは、直前に開通したばかりのTEM高速道路を次々と破壊しながら続き、ボル山トンネル北入口の1.5kmの西まで追跡することができた。

エフテン湖から東33kmの範囲では、11月12日の地震による右横ずれ断層の変位が追跡された。この地域では、断層帯の幅が10mから500mくらいに変化している。この地域のいくつかの地点で変位量を計測したところ、断層は最大410±10cm右

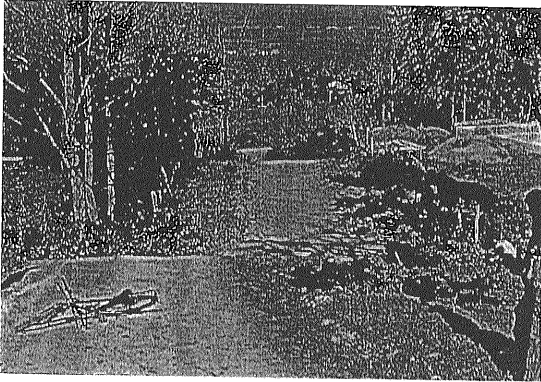


写真1 ダーディビ村の北において、南北方向の村道を切って右横ずれ4.10mの変位を示す地震断層。

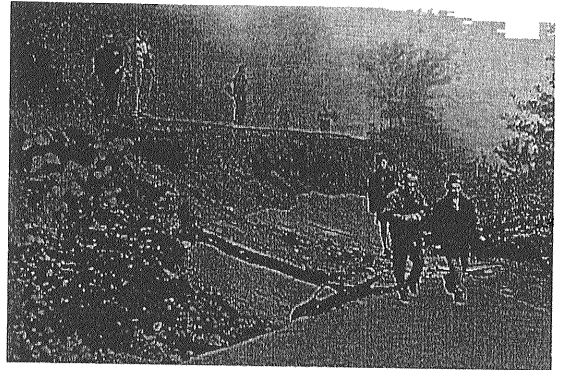


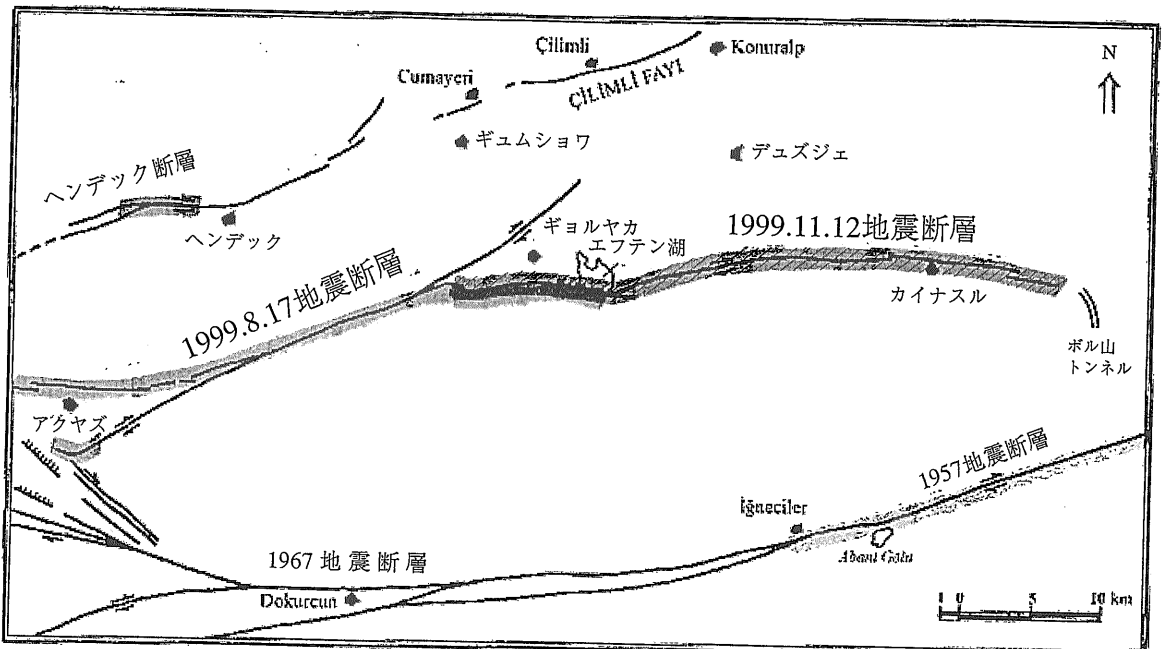
写真2 エフテン湖の南における地震断層の斜めずれ(上下変位及び水平変位)。

横ずれに変位したことが確認された(写真1)。最大の変位は断層の中央部分にあった。エフテン湖の南の5kmの区間では、正断層で右横ずれ(斜め移動)が確認された(写真2)。ここでは、300cmの傾斜移動で300cmの右横ずれが計測された。湖岸付近の、8月17日の地震でも活動した6kmの区間では、断層変位は正断層成分をもちながら東から西に向かって少なくなっていて、西端では2-3cmの上下変位であった。

1999年8月17日の東部マルマラ地震の地震断層は、不連続なくいくつかの区間に分かれているが、

11月12日のデュズジェ地震で活動した地震断層は、43kmにわたって連続的に続いている。8月17日の地震ですでに活動した区間以外で、今回活動した区間の西端では、正断層成分を持つ断層が形成されていた。エフテン湖の付近で実施した2点の計測点では、断層面の傾斜は55°であった。

いままでに行った少ない計測数(合計30計測点)によれば、最大の右横ずれ変位を示す範囲は、地震断層の中央部であるベイキョイ(Beyköy)-ダーディビ(Dağdibi)付近である。変位量分布に基づく解析では、UTMグリッド344,000m-350,000m



第2図 デュズジェ周辺の活断層と1999年8月17日、11月12日の地震に伴う地震断層。

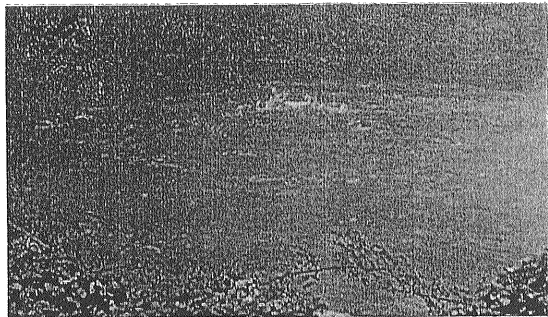


写真3 エフテン湖の南、ジェウズブリック村付近での地震に伴う地中ガスの噴出とその燃焼。

(東経 $31^{\circ}09'$  -  $31^{\circ}13'$ )がマクロな震央であると推定される。このマクロな震央からエフテン湖までの区間では、確認された変位量は平均して270-300cm程度である。これに対し震央から東に向かっては、変位量は徐々に減少し、東端ではゼロになっている。この変位量の変化を用いれば、綿密な調査の結果から、8月17日の地震によるデュズジェ断層の西側部分で発生した地震断層の原因について解釈することが可能となる。

#### 4. 断層運動による地下水の湧出と地層中ガスの噴出

今回の地震の後に、エフテン湖岸で、地表で採取可能な濃いガスの噴出口が見つかった(写真3)。このガスの分布と化学成分を解明するために、野外調査を実施した。その結果、ガスの組成は $\text{CO}_2$ と $\text{CH}_4$ であると確認された。測定者の談話では、測定地点の中心から離れるにつれガス濃度は低くなり、かつ他の成分の混入率も下がるとのことである。

$\text{CH}_4$ ガスと $\text{O}_2$ では、 $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ の化学式が成り立つので、( $\text{CH}_4$ )のもととの混入率は10%よりも高かったはずである。しかし測定者の中には、この比率はもっと低いとする考えもあった。この議論は外部からの影響で決着した。泡のガス成分では、 $\text{CO}_2$ はもっと高い割合を示していた。もともと $\text{CH}_4$ ガスは地層の間に堆積している泥の生産物であり、圧力で上方に移動したものが(酸素と反応し) $\text{CO}_2$ ガスとなる。 $\text{H}_2\text{S}$ ガスは、泥の中でこれらのガスと一緒にあるにも関わらず、検出されな

かった。これはガス測定器固有の問題で、(比重の重い) $\text{H}_2\text{S}$ ガスが低い部分にとどまっているためである。

写真3で見られるように、水と泥は、泡立っているものの高い温度ではない。 $\text{CH}_4$ ガスとともに $\text{CO}_2$ ガスの割合も高くなっている。水温は、 $25.4^{\circ}\text{C}$ と測定された。この水はたぶん深部の大きな「たまり」からきたもので、 $42.3^{\circ}\text{C}$ の温泉水と $9.1^{\circ}\text{C}$ の湖水とがおおよそ50%混合してできたものである。1999年11月12日に発生した地震は、それまで泥の中にとどまっていた $\text{CH}_4$ ガスが断層破砕帯を通して地表へ噴出するのを助けた。ガスの噴出についての議論は長くは続かなかつた。なぜなら、ここでの $\text{CH}_4$ ガスは地殻の深部のものではなく、前にも述べたように、泥の中にあり地層中に蓄えられたものであるからである。もし、 $\text{CH}_4$ ガスの起源が地殻の深部であるなら、地下おおよそ1kmの深さのあたりで $42.3^{\circ}\text{C}$ の温度の温泉水とともに存在している必要がある。しかし、この温泉(源泉)の近くで測定をしたところ、 $\text{CH}_4$ ガスは検出できなかった。

$\text{CH}_4$ ガスは、上述した目的のため、絶えず追及が行われ次第に熱を帯びてきた。住宅地に近い観測点では、地面から1mの高さで行ったガスの測定で、 $\text{CH}_4$ ガスがわずかな量ではあるが検出された。ドラユス(Dolayısı)からこのガス地帯にかけては、爆発と中毒などの危険があることを国民に申し上げたい。

地震による被災地付近では、さらに測定器による $\text{Rn}$ と $\text{CO}_2$ ガスの調査を行った。地震前には活断層付近でやや高い値が得られることが一般に期待されているが、地震後の今回の測定ではかなり低い値であることが確認された。

被害を受けた地域では、地震とともに多量の水の噴出があり、その水はある深さからもたらされ、(一般的に)かなりの量の物質を含んでいるものであるが、今回はそのような(多くの物質を溶かし込んでいるような)水の噴出はなかった。化学分析担当者は、大部分が淡水の性質を示すことを見せてくれた。流れ出て水たまりとなった水の化学成分には変化が見られなかった。生態系に害を与えているという話は、この付近一帯にはなかった。

## 5. 被害の分布と地質構造との関係

8月17日の東部マルマラ地震と同様、11月12日のデュズジェ地震でも、人命を失う原因となった建物破壊が多数生じた。このため、建物被害と基盤地質の性質との関係が追求された。地震時に建物の被害を受けたギョルヤカー-カイナスル、さらにデュズジェを再建する目的のため、この2つの地域に対して、重点的な調査が実行された。

ギョルヤカー-カイナスル被害地帯：この地帯では、建物の被害は甚大で多数であった。地震断層の通過する村や郡の家は帯状に破壊され、人が住めなくなっている。破壊に関して最もひどい被害は、カイナスルからハジュヤクプ(Hacıyakup)村(ギョルヤカ)の間である。この居住地区では、多数の建物が破壊されているが、物理的には、断層変位による引き裂かれと変形による被害を受けていた。8月17日の地震と比較すると、この地震断層帯とその近辺での建物被害数は少ないと見積もられる。これは、建物の密度が低いこともあるが、居住地の地盤がより耐震性を有していたためであり、土地条件の役割が大きかった。このうち、最も大きな居住区であるカイナスルでは、多数の家が倒壊し重大な被害を受けていた。

この地震で最も人命が失われ、建物被害が最大となったのはデュズジェの都市であった。短期間の観察によると、都市の建物の半数以上が崩れていたり、重大な被害を受けているのが観察された。崩れた建物のうちでは、3階建て以上の建物構造をもつものが過半数以上も被害を受けている。短い観察期間では、地盤の挙動についての詳細なデータは集まらないが、8月17日の地震でアダパザル(Adapazarı)で生じたような、建物が傾いたり倒れたりする被害は、液状化した地盤の側方移動の力が大きな要因であることが示されている。

この地震断層から5-10kmの距離にあるデュズジェ平野の都市は、その地表が柔らかい沖積層の地盤で構成されている。この被害密度が高い帯は、かなりの確率で地下水面が高く、古い河道が埋まった地盤である。断層帯付近には土地を求めず、デュズジェ平野周辺でも、丈夫な地盤をもつ住宅地周辺(例えばギュムショフ(Gümüşova))で、デュズジェと比べて被害率が少ないところに(新しい住宅

地は)決定されるべきである。

## 6. 構造物(道路)土台の被害

2日間の調査期間では、道路施設の土台(路盤)についても観察を行った。地震後は、カイナスルに近い東側地点で、国道E5号線が地震で破壊され通行止になっている。カイナスル-ボル山の地域では、地震が原因の活発な地すべりが連続して発生している。TEM高速道路を通过这个の高速道のアサルスユ谷まで調査する途中、地震断層が原因となった様々な変形が発達しているのが見られた。ディプ(Dip)の町の東側では、地震断層は約20度の角度(傾斜?)で通過していた。この帯上では、未破壊のもの、崩れていないものは残っていなかった。断裂の幅が広いところでは、天井のコンクリートが幅140cmにわたり開いている変形が見られるが、このすき間の存在は、断層の変位が複雑であることを示している。

TEM高速道路で見たものは、建物については第二級の被害地帯であったが、ディプの東のクズ(Kız)丘からボル山トンネル北入り口の1.5kmの西のアサルスユ谷の被害は深刻である。この部分では、約5km山間の高速道路の駐車場には、地震による破壊のため所々変形しているのが見られた。また地すべりも発達していた。この地帯での1つの観察点で、50cmの右横ずれ変位が計測された。

地震断層は、ボル山トンネル北入り口の1.5km西まで追跡できる。最もトンネル寄りの地点の斜面では、2cmの右横ずれが測定された。トンネルのため調査はこの周辺までで、このあたりの構造物変形については言及することができない。

カイナスルからエフテン湖の間では、地震断層が通過した村道で、交通障害となる路面のふくらみや陥没とともに、270-420cmの右横ずれ変位が多数観察された。

## 7. 予察的結論

◇1999年11月12日のデュズジェ地震は、デュズジェ断層の活動の結果発生した。

◇73kmの長さのあるこの断層の西側30km部分は、1999年8月17日の地震で活動した(破壊され

た)。11月12日の地震では、この断層の東側部分が43kmにわたって破壊された。

◇この断層は、8月17日の地震の原因となった北アナトリア断層の北側支脈の最も東に位置するセグメントで発生した。

◇11月12日の地震は、8月17日の地震の時に未活動であったデュズジェ断層である東部分の活動によって引き起こされた。

◇断層の破壊は、東側部分では右横ずれの変位で、エフテン湖部分では斜めずれ断層のメカニズムが明らかである。変位量に関しては、測定された最大のものは右横ずれ410±10cmで、傾斜方向の変位は300cm程度であった。

◇MTA-アンカラ大学が作成した「1999年8月17日地震後のデュズジェ(ボル県)の居住代替え地に関する地質学的研究」という題のレポートは、アダパザル-デュズジェ間の地震リスクが予想される断層として、デュズジェ断層の東側部分とヘンデック断層を取り上げていた。11月12日の地震により、デュズジェ断層が予想されたとおりに活動してしまった。しかし、ヘンデック断層はまだエネルギーが蓄えられたままである。

◇地震破壊による最も甚だしい人命と建物の被害は、住宅地とデュズジェの都市で発生した。ギョルヤカー-カイナスルに関しては建物の大多数が被害にあった。地震断層によって引き裂かれた被害もあるが、デュズジェの都市における災害は、特に弱い沖積地盤と結びつけられる。

◇道路施設の土台部分には、地震断層と地すべりに関係した様々な変形が発達している。

◇この地域で(地中から噴出した)ガスの広域的な測定や、水辺の生態系、長期間にわたる人間の健康に与える危険レベルなどを明らかにすることはできなかった。CH<sub>4</sub>ガスの連続噴出は止まっており、空気中の含有量も次第に下がっている。

## 8. 提言

1) 1999年8月17日と1999年11月12日の両地震は、トルコ国内において、多層階の建物が柔らかい沖積層の上に林立していると人命の大被害を招くことを、繰り返して示した。国内では、効果的な建築

パラメータについての耐震基準は世界的な基準に達している。しかし、今回発生した地震は、建築設計とその適用を地盤特性に結びつけるための技術が確立される必要があること、また建築検査が本当に十分に行われるべきであることを明らかにした。これは、地震に関する意識が、トルコ国民の教養の一部分となるまでに膨らんだことを示している。これにより、地震の影響がより少ないと地質学的に判断される丈夫な地盤上に都市空間を計画するのが、最も実用的で経済的な方法であることが認識されるに至った。今回の地震で最も影響を受けたデュズジェとカイナスルの住宅地の新建設にあたっては、この考えが基本として採用されるべきである。8月17日の地震の後で、MTA-アンカラ大学の共同作業によって、これらの都市の持続性のある代替え地を確定するための調査が行われた。地震後の宅地予定地は、(TUBITAKへの)報告書にその地名が明確に提案されている場所に建設される必要がある。

2) TEM高速道路とその周辺道路では高額な経費をかけて修復工事が行われるであろうが、その前には地質学と地震学による詳細な調査が行われることになる。今度行われる工事計画地点の選択を(TUBITAKへの)報告書に提案されている地域にし、その地域の詳細な地質学的調査が必要である。

## 文 献

- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Kecer, M. and Unay, E. (1998): 東部マルマラ地域の第三紀-第四紀の進化(トルコ語)。MTAジャーナル 120巻, p.211-234.
- Emre, Ö. and Duman, T.Y. (1999): 1999.8.17東部マルマラ地震被害観察とプレ評価報告(トルコ語)。MTA地質研究部, アンカラ。
- Emre, Ö., Duman, T.Y. and Doğan, A. (1999a): 1999.8.17東部マルマラ地震による地表断裂(地震断層)地図とプレ評価報告(トルコ語)。22p. MTA地質研究部, アンカラ。
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Awata, Y., Yoshioka, T., Tsukuda, E. and Doğan, A. (1999b): The surface rupture of 17 August 1999 Marmara Earthquake: Segmentation and offsets. Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, EHRMR' 99, Abstracts, Near East Univ., North Cyprus.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Awata, Y., Yoshioka, T. and Doğan, A. (1999c): 1999.8.17東部マルマラ地震による地震断層: 3つの断層セグメントからなるモデル(トルコ語)。第3活断層調査グループ。特別討論広報1999.11.4-5, ジュムリエット大学, シワス市。
- MTA-アンカラ大学共同調査プロジェクト(1999): 1999.8.17地震後のデュズジェ(ボル県)の居住代替え地に関する地質学的研究(トルコ語)。監修: TUBITAK, pp.59.

Şaroğlu, T., Emre, Ö. and Boray, A. (1987): トルコの活断層と地震頻発帯. MTA報告書 no. 8174, 394p.

Şaroğlu, T., Emre, Ö. and Kuşçu, İ. (1992): トルコ活断層図. MTA出版物.

### 訳者記

本文は、MTA(トルコ鉱物資源調査開発総局)によって、11月12日の地震発生からわずか4日後にまとめられ、インターネット上で公開された予察的報告を、著者の承諾を得て日本語に翻訳したものである。大地震による混乱の中、迅速かつ的確な調査を実施し、提言をも盛り込んだこのような報告を短期間にまとめられたMTAおよびMTA研究者諸氏に敬意を表したい。

翻訳にあたっては、訳者らがトルコ滞在時に学んだトルコ語力では十分に表現できない箇所がいくつかあったが、報告の内容が非常に優れていることで、翻訳の至らない点については十分カバーされるものと思われる。なお、原文をご覧になりたい方は以下のURLまでアクセスされたい。

URL: <http://www.mta.gov.tr/dzc.htm>

---

EMRE, Ö., DUMAN, T.Y., DOĞAN, A., ATEŞ, Ş., KEÇER, M., ERKAL, T., ÖZALP, S., YILDILIM, N. and GÜNER, N. (2000): Report of field observation and preliminary assessment on the 1999. 11. 12 Düzce earthquake. [Translated by HIRANO Hideo and YOSHIOKA Toshikazu (2000)].

---

< 受付: 1999年12月10日 >