

1999年トルコ・コジャエリ地震の被害調査報告

Investigation of Damage Caused by the 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey

能島 暢呂¹

Nobuoto NOJIMA

1. はじめに

筆者は、土木学会リスク研究小委員会のメンバーとして、1999年10月26日～11月5日の間、トルコのマルマラ地方を襲った1999年コジャエリ地震の被害調査を行う機会を得た。調査団は、京都大学防災研究所巨大災害研究センターの河田恵昭教授を団長として、同センター、兵庫県、土木学会リスク研究小委員会、国連地域開発センターや民間企業などからメンバーが参加した混成部隊である。調査期間中、イスタンブール、イズミット、ギョルジュク、アダパザルなどの被災地を視察したほか、官公庁でのヒアリングと現地セミナー開催のためアンカラにも立ち寄った。主な訪問先は、公共事業住宅省防災局、同地震観測部、運輸通信省、国土計画庁、イスタンブール商工会議所、ボガジチ大学カンディリ地震研究所などである。

本稿では、紙面の都合上、多少断片的になるが、いくつかの側面に焦点を絞って、現地でのヒアリング調査や入手資料の一部をとりまとめたものである。なお、土木施設全般の被害については、他の文献

(EEC/JSCE, 1999, Aydan, et al., 2000) に詳しい記載があるので参照されたい。これらを含めて、参考文献に掲げた資料の多くは WWW で容易に参照できるので、できるだけ URL を記しておいた。

2. 被災地の概要と被害統計

トルコ共和国の人口は約 6,300 万人で、被災地であるマルマラ地方(図1)は人口ではシェア 23%であるが、GNP シェアは 35%にのぼり(SPO, 1999), 特にイズミット湾沿岸地域は、トルコ産業経済の屋台骨を支える地域といわれている。この地を直撃したコジャエリ地震(M7.4)は1999年8月17日午前3時2分(現地時間)に発生した。調査中の10月28日現在において、トルコ政府危機管理センターにより公表された被害統計は、死者 17,181 名(県別の死者数内訳と行方不明者数の公式発表は行われなくなっていた)、負傷者 43,953 名、全半壊家屋 133,683 戸、全半壊事業所等 20,828 戸である。なお、1 棟あたりの戸数を約 10 戸で換算した場合、全半壊棟数は約



図1 コジャエリ地震による主たる被災地の地名とその位置。

1 正会員 博士(工学) 岐阜大学工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, nojima@cive.gifu-u.ac.jp)
本稿の PDF ファイルは, http://www.cive.gifu-u.ac.jp/~nojima/pdf/2000_turkey_report.pdf よりダウンロード可

Location of August 17, 1999 Turkish Earthquake

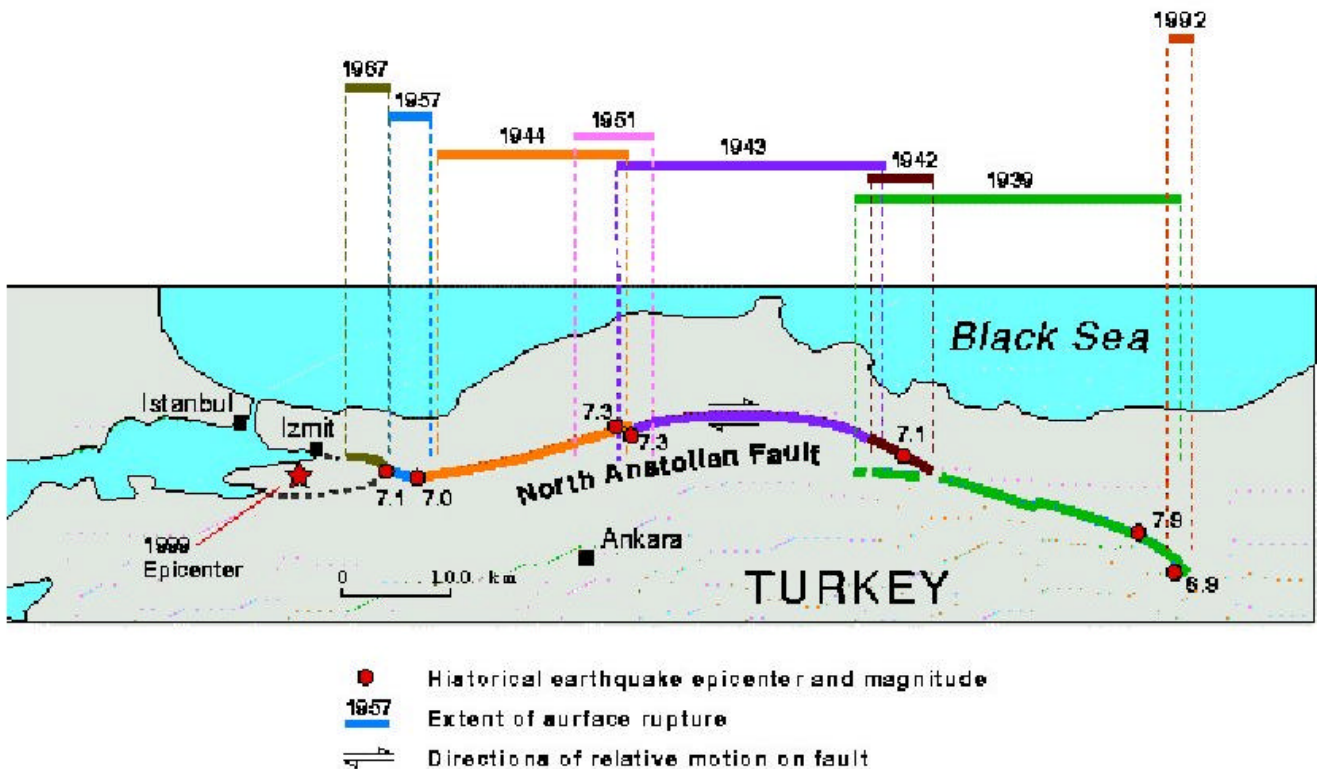


図2 北アナトリア断層に沿って発生した地震の履歴。1939 年エルジンジャン地震以来、西方へと地震活動が進行し、コジャエリ地震が発生した (USGS (1999) より)。

13,000～14,000 棟になるという試算がある (中林ら, 1999)。

国土計画庁でのヒアリングによると、直接被害の被害総額はトルコ政府推定で 85～130 億 US ドル、世界銀行推定で 30～65 億 US ドルとなっている。被害総額を仮に 1 兆円とすれば、兵庫県南部地震の 10% 程度となるが、トルコの GNP が 2,046 億 US ドルであることから被害総額の対 GNP 比は約 5% にも及び、経済的インパクトの大きさが伺える。

3. 被災地周辺の地震環境

トルコ周辺のテクトニクスは複雑で、ユーラシアプレート、黒海プレート、アラビアプレートなどに囲まれたアナトリアプレートが、アラビアプレートの北進により西に押しやられており、これにより東西約 1,200km におよぶ北アナトリア断層では、年平均移動速度 約 24 ± 4 mm もの右横ずれが生じている。北アナトリア断層に沿って、1939 年エルジンジャン地震 (M7.9, 死者約 33,000 人) をはじめとして M7 以

上の地震が 6 回発生し、西に向かって断層破壊領域が進行しつつあった (図2)。こうした地震活動履歴から、1967 年以降空白域となっている断層西部のイズミット湾周辺が危険と指摘されており、1996～2026 年の 30 年間に M6.7 以上の地震が発生する確率は 12% と推定されていた (Stein, et al. 1997)。

コジャエリ地震はこの断層のほぼ西端で発生した地震である。今になってみれば、中長期的には地震襲来を予期することは容易だったといえるかもしれないが、短期的に発生時期が特定されないと身近な脅威として実感できないことも事実であろう。

耐震設計の面では、50 年 10% 超過確率 (再現期間 475 年) の期待最大加速度 (図3) に基づいて、設計荷重の基準値を決める地域ゾーニングが行われ、トルコ全土が地震危険度に応じて Zone I～V の 5 段階に分類されている (図4)。コジャエリ地震の被災地周辺の期待最大加速度は 0.5G 前後と推定されており、最も危険度の高い Zone I に属している。1975 年改訂の建築基準では、Zone I の設計用せん断力係数 (ベ

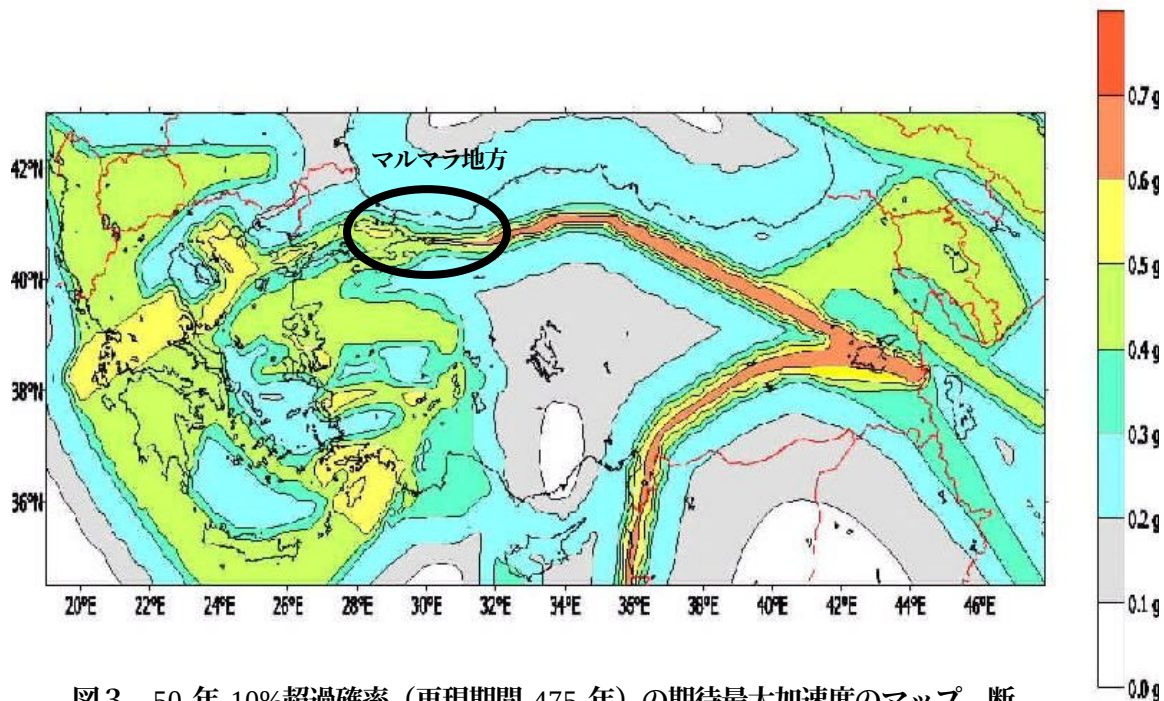


図3 50年10%超過確率（再現期間475年）の期待最大加速度のマップ。断層沿いで高い値を示し、マルマラ地方の被災地周辺では、おおむね0.4G～0.7Gとなっている（公共事業住宅省提供資料に加筆）。

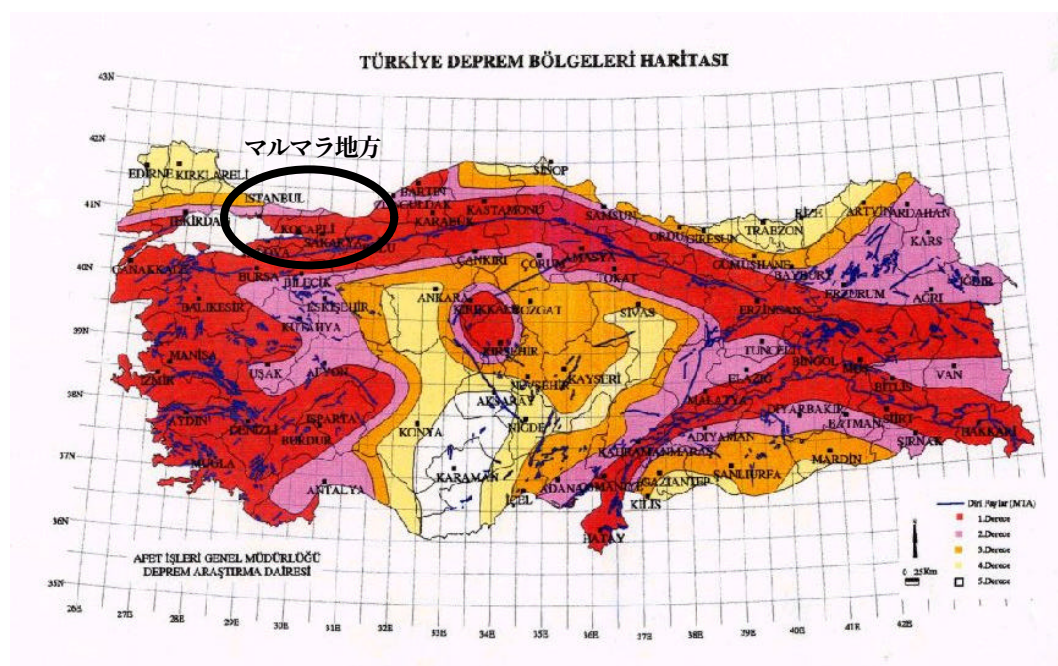


図4 耐震設計荷重の基準値を設定するためのゾーニングマップ。期待最大加速度に応じて5ゾーンに分けられ、設計用せん断力係数の基準値はZone 1からZone 4までそれぞれ0.4, 0.3, 0.2, 0.1と定められている。（公共事業住宅省提供資料に加筆）。

ースシア係数)は0.10であった。1997年の改訂で0.40にかさあげされた(MPWS/Turkey, 1997)が、ほとんどの被災建物は旧基準に基づいて設計されたものと考えられる。

ところでマルマラ地方では、経済発展の波に押さ

れて人口流入が激化する中で、良質な住宅供給が追いつかず、耐震性に乏しい中低層RC造集合住宅の建設が相次いでいた。特に、低品質な建築材料の使用、施工管理の不徹底、建築基準の形骸化、ソーラと呼ばれる中空レンガ(写真1)を用いた無補強壁など、構造

的弱点を抱えた RC 造集合住宅の多くがパンケーキ状破壊を起こした（写真2，3）ことが，多数の人命が奪われる大災害となった社会的背景となっている。

4. 断層変位が及ぼした影響

断層破壊は，震源であるイズミット市付近から，一方は西のイスタンブール方面に向かって進行，他方はアダパザルまでほぼ真東に進行し，アキアズというところで北東に方向を変え，デュズジェに至った．断層長さは約 130km におよび，地表面で確認された断層変位の分布は，西側で約 3m，中央付近で 4.5m，東側で約 1.5m であり，いずれも右横ずれである（Yilmaz and Demirtas, 1999）．

建築物と比較すると公共土木施設の被害は比較的軽微であったといえるが，その被害の多くが断層変位によりもたらされたことがクローズアップされた．アリフィエというところでは，イスタンブール～アンカラ間を結ぶ高速道路（Trans-European Motorway; TEM）のオーバースパス（4 スパン橋長約 30m の単純 PC 橋）が，断層変位により桁の南側が落下した．土木学会の一次調査団の推定によると，右横ずれ断層の変位量を 4m とした場合，橋軸方向の変位は 1.37m，橋軸直角方向の変位は 3.76m となり，桁かかり長（橋台側 60cm，橋脚側 45cm）をはるかに上回っている（EEC/JSCE, 1999）．

また鉄道施設に関しては，アダパザルの南東アキアズにあるテペタルラ駅の 150m 北の地点で，約 2.5m の右ずれ断層変位により盛土およびレールの蛇行が発生した（写真4）．不通の間は蛇行部分をはさんで部分運転していたが，この被害箇所は 3 日後には復旧している．なお，これらの被災箇所の周辺では，水道管の破断も確認されている（Aydan, et al., 2000）．

トルコにおいて，このように断層変位による被害が目目されたことに加えて，台湾集集地震でも同様の被害が多発したことから，わが国では，断層変位への対策を耐震設計に反映させるための検討が行われつつある．断層を回避した施設計画も対策の一つと考えられるが，断層位置が必ずしもピンポイントで特定されるわけではなく，完全に回避することは不可能である．従って，特にネットワーク幹線施設では，リダンダンシーに富むネットワークを形成したり，早期復旧を可能とする構造にするなどの工夫も必要となろう．



写真1 ツーラと呼ばれる中空レンガ。積み重ねられて無補強壁として用いられる。



写真2 層崩壊を起こして倒壊した建物（アダパザル）。



写真3 この地域で典型的に見られる RC 造建物。建設中に被災したものと思われ，倒壊は免れているがレンガが剥落している（ギョルジュク）。

5. 仮設住宅の建設計画

多くの集合住宅が倒壊したため、被災者の居住空間の確保は震後対応の大きな課題であった。一時的な措置として、赤新月社やトルコ国内外の軍の支援部隊が至るところにテント村を設営して被災者を収容した（写真5）が、被災者が独自に建てたバラックに住む人々も多いような状況であった。政府では、冬季に入る前にこうした劣悪な住環境から仮設住宅へと被災者を移す計画を立てているということであった。

仮設住宅に関しては、トルコ自力で 25,000 戸、海外支援により 5,300 戸を、計 69 箇所で開催する計画となっている。海外支援のうち 2500 戸は日本からの援助であり、神戸市、西宮市、尼崎市などで使用された仮設住宅が、兵庫県職員の指導のもとに建設される方針である。調査時には、ちょうど先発隊にあたる 500 戸が到着して建設作業が開始されたところであった（写真6）。

6. 恒久住宅の建設計画と復興計画

壊滅的な被害を受けた住宅の再建計画について公共事業住宅省防災局でヒヤリングを行なったところ、恒久住宅の建設スケジュールについては、2000 年 1 月には地盤調査を終了、同 2 月に建設業者の入札、同 3 月中旬に建設工事を開始、2000 年末に完成目標であり、竣工にあわせて仮設住宅を順次撤去して行く方針とのことであった。

また、軟弱地盤で被害が集中したアダパザル市で検討されている都市移転計画について尋ねたところ、「市全体が移転するという計画はなく、被災を免れた建物はそのまま使用する。ただし、明らかに地盤が軟弱な場所での住宅再建は避けて公園を建設する計画である。住宅建設用地の候補として、アダパザルから約 10km ほど北で地盤条件が良いセルディバンという土地を選定した。被災戸数の 70% くらいを供給戸数の目安と考えている。建物の構造はボーリング調査を行ってから決定する計画で、トルコにおける住宅の平均床面積約 77m² を参考値として各戸の間取りを決める。」とのことであった。住宅供給に関しては、政府の補助金による融資計画が検討されており、入居してから 2 年間は支払いを免除、その後 10～20 年間で無利子のローンによる返済とする方針である。返済額の



写真4 断層変位にともなう盛土とレールの蛇行。右ずれの変位量は約 2.5m (インターネットより)。



写真5 赤新月社が設営したテント村 (ギョルジック)。



写真6 兵庫県の支援による仮設住宅の建設。尼崎市で使用されていた2戸1棟のタイプの仮設住宅を再利用している (アダパザル郊外)。

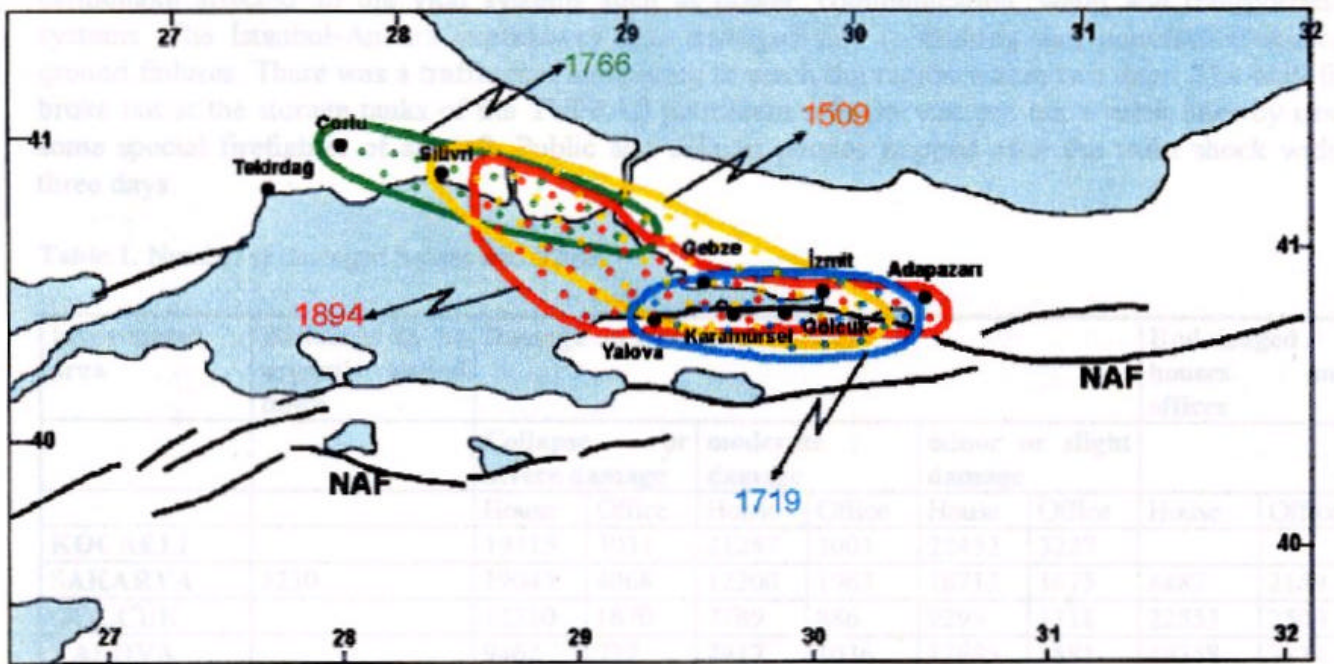


図5 マルマラ海周辺で発生した既往地震の強震域 (Yilmaz and Demirtas (1999)より)。

合計は建設費用のほぼ原価に近いものとなるらしく、急激なインフレ進行を考えると、この措置に伴う財政的負担は相当に大きくなることが予想されている。

今後の復興計画に関しては、調査団では国土計画庁において、“The Marmara Region Development Plan” (SPO, 1999) という復興計画案のドラフトの一部を入手したが、この時点ではまだ、被害統計の概略や、計画目標、計画対象などが示されているにとどまっており、具体的な計画案とはなっていない段階であった。しかし、2001年からの第8次5ヵ年計画においては、地震防災関連事項も大きく取り入れられることが決まっており、マルマラ海沿岸の地震防被害を視野に入れた総合開発計画が立案される方針である。

7. イスタンブールの再来地震に備えて

イスタンブール周辺の地震被災履歴(図5)をみると、おおむね100年に一度の割合でマルマラ海付近を震源とする地震が発生して、イスタンブールに被害を及ぼしており、前回の1894年から既に100年以上が経過している(Yilmaz and Demirtas, 1999)。さらに時代をさかのぼれば、イスタンブールは1500年間に12回もの地震被害を受けているという。サイエンス誌に掲載された最新の研究(Parsons, et al., 2000)によると、イスタンブール周辺においてMM

震度階8以上(気象庁震度階5以上にほぼ相当)の揺れをもたらす地震の発生確率は、2000年5月を起点とする1年間で $4.4 \pm 2.4\%$ 、10年間で $32 \pm 12\%$ 、30年間で $62 \pm 15\%$ と推定されている。この確率予測においては、コジャエリ地震によるひずみの蓄積が引き金となって、地震以前よりもそれぞれ2.1ポイント、12ポイント、13ポイント増加したことが明らかにされている(Parsons, et al., 2000)。

一方、トルコは急速に都市化が進んで、ここ40～50年で都市部人口は4～5倍に増加している(ケレシュ・加納, 1990)。イスタンブールではその傾向が特に顕著であり、人口密度は $1,773 \text{ 人}/\text{m}^2$ に達しているが、ゲジェコンドと呼ばれる不法占拠住宅が全体の約半数を超している状況である。このゲジェコンドとは「一夜作り住宅」という意味のトルコ語であり、「最低の建築基準を満たさない低質の建物であるか、居住者が所有権を持たない土地に建築した建物」と定義されている(ケレシュ・加納, 1990)。このように劣悪な住宅環境のために地震災害に対する脆弱性は、過去と比較にならないほどに高まっている。「西の首都」イスタンブールの被災は、コジャエリ地震以上のインパクトをもたらす可能性が高いと憂慮されており、M7.4の地震を想定した被害予測が行われている(図6)。

コジャエリ地震の復旧復興過程のなかで、早くも

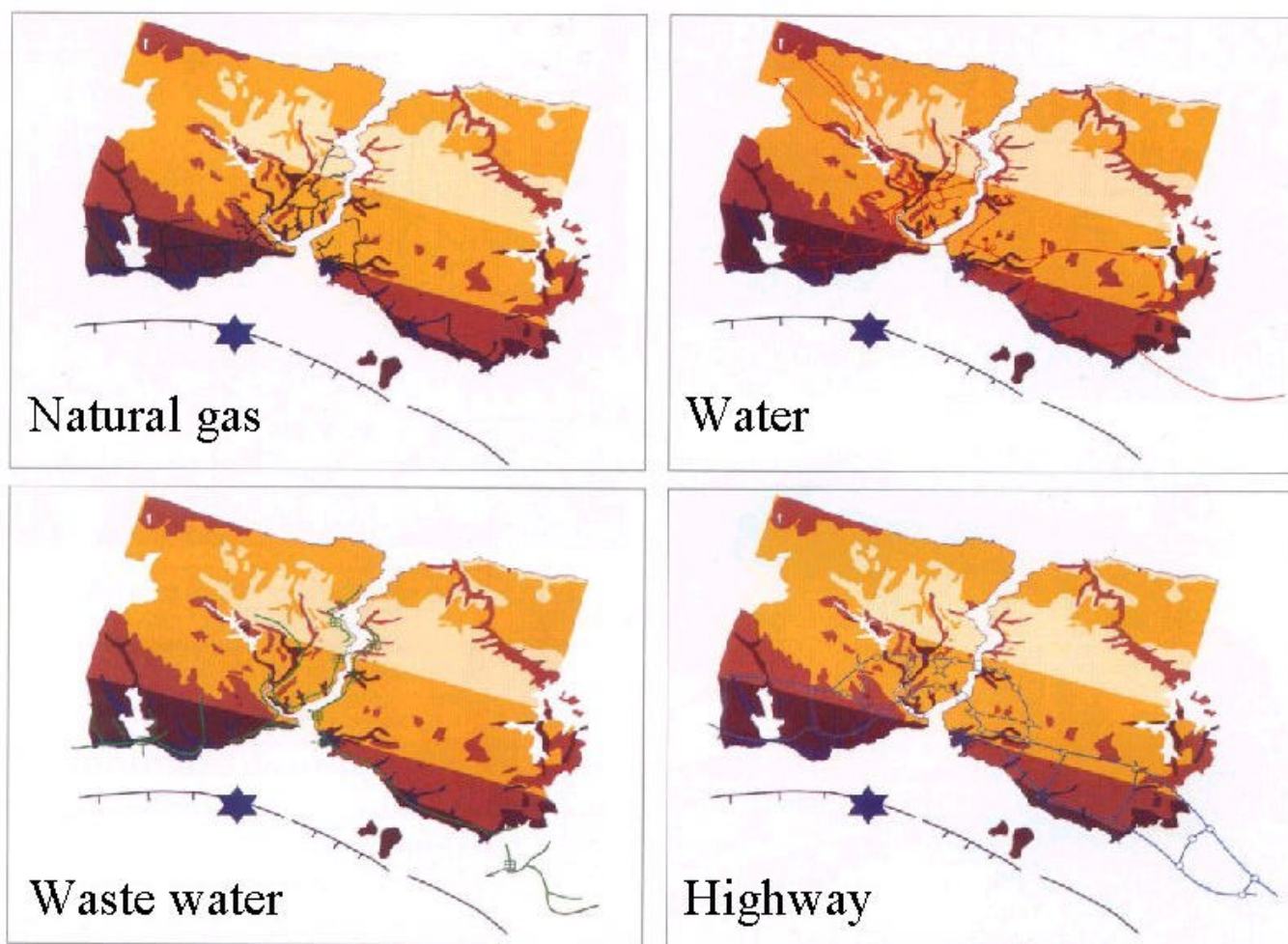


図6 イスタンブールのボスポラス海峡付近の地震（M7.4）を想定した地震動強度分布とインフラ施設の重ね合わせ。星印が震源で、色の濃い方から薄い方へ MSK 震度階9, 8, 7, 6（気象庁震度階6, 5, 4～5弱, 3～4に相当）と予測されている。（現地発行の雑誌 Istanbul より転載，加筆）。

次なる脅威に対して備えねばならないことは、トルコにとって大きな負担になるであろう。しかし、先に触れた確率予測にみられるように、被害地震再来の危機が切迫していることは明らかであり、当面の間しのぐことができたとしても、いずれ被害地震が発生することはほとんど確実である。こうした確率予測は、トルコの実社会でどのように受け止められるのであろうか。そしてまた、どのように種々の政策に具体的に反映されてゆくのだろうか。地震危険度情報の開示のあり方やその活用方法の面でも、今後のトルコの動向に注目したいところである。

8. おわりに

ここわずか 5～6 年の間に、われわれは、ノースリッジ、神戸、トルコ、台湾と、都市直下型地震のもたらした大被害を次々と目の当たりにしてきた。地震自

体は万国共通の自然現象であるが、今回の被害調査では、社会基盤施設のあり方や、産業構造、経済状況、土地・住宅政策、生活習慣、宗教といった国情の違いからくる「災害の社会性」を強く感じさせられた。そのせいか、この地震災害から引き出される教訓は、「〇〇〇にとって」という立場次第でおのずと異なるように思われる。

トルコでは、都市人口の激増、土地利用の高密度化、都市のスプロール化が進む中で、住居建築の耐震性の水準をいかに高めるかという根本的な技術的課題に取り組んでゆく必要がある。建設材料の高品質化、施工管理の徹底、設計基準の遵守など様々な面から、着実に初期被害の防止・軽減対策を進めなければ、同様の被害が繰り返されることは明らかである。また、秩序ある都市開発を進めることにより、都市の脆弱性を低減する努力も必要である。コジャエリ地震は奇し

くもトルコ社会に蓄積したひずみを露呈したともいえ、これを是正してゆくことは、長期的に取り組むべき政策的課題である。

一方、わが国にとっては、断層変位をどう設計に取り入れるかという技術的検討課題をはじめ、既存不適格構造物の耐震補強の問題、地震ハザードを考慮した国土開発計画や都市計画のあり方、被災者支援や国際的協力支援のあるべき姿など、あらためて考えさせられる検討課題が多い。また、アダパザルにおいて、良好な地盤を求めて都市の一部を移転する計画が進められていることは、リスク回避の一手段として興味深い。トルコとわが国では、土地政策や住宅政策などの面で大きな隔たりがあるにせよ、ハザードマップ公開が「地盤条件を考慮した地域計画」に発展する可能性があるとすれば、示唆に富む事例となるのではなかろうか。

謝辞： 現地調査の機会を与えていただいた土木学会土木計画学研究委員会災害リスク研究小委員会の関係各位および岐阜大学工学部の杉戸真太教授、現地で快く調査に応じて下さったトルコの関係機関の皆様、調査にあたって様々な便宜を図っていただいた京都大学防災研究所巨大災害研究センターの河田恵昭教授と林春男教授、それから、協力して調査にあたった調査団のメンバー各位に深く謝意を表します。

参考文献

Aydan, O., Ulusay, R., Hasgur, Z. and Taskin, B. (2000), A Site Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17,1999, TDV/DR 08-49, Dept. of Operations Research and Financial Engineering, Princeton University, USA. (<http://www.princeton.edu/~mcakir/depem/kocaeli.html> より PDF ファイルをダウンロード可)

Earthquake Engineering Committee, JSCE (1999), The 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey, - Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-. (土木学会地震工学委員会トルコ・コジャエリ地震被害調査団報告書) (http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsce2/committee/eec2/report/HP-Turkey/kocaeli_E.html より PDF ファイルをダウンロード可)

Istanbul (1999), “Istanbul ve DEPREM,” Sayı 31, Ekim. (現地発行の雑誌特集号)

Ministry of Public Works and Settlement, Government of Republic of Turkey (1997), Specification for Structures to be Built in Disaster Areas, PART III – Earthquake Disaster Prevention (Ch.5 – Ch.13), Official Gazette No.23098. (<http://geophysics.gg.utk.edu/izmit/design.zip> より Word ファイルをダウンロード可)

中林一樹・田中淳・目黒公郎 (1999), トルコ・コジャエリ地震における都市災害の特徴と課題, 地域安全学会梗概集, No.9, pp.236-239.

Parsons, T., Toda, S., Stein, R. S., Barka, A. and Dieterich, J. H. (2000), Heightened Odds of Large Earthquakes Near Istanbul: An Interaction-Based Probability Calculation, Science, Vol.288. (<http://quake.wr.usgs.gov/study/deformation/istanbul/istanbul.pdf> より PDF ファイルをダウンロード可)

R.ケレシュ・加納弘勝 (1990), トルコの都市と社会意識, アジア経済研究所 研究双書 No.402.

State Planning Organization (1999), The Marmara Region Development Plan (A Draft Identification) (国土計画庁での入手資料)

Stein, R. S., Barka, A. and Dieterich, J. H. (1997), Progressive Failure of the North Anatolian Fault Since 1939 by Earthquake Stress Triggering, Geophysical Journal International, Vol.128, pp.594-604. (http://quake.wr.usgs.gov/study/deformation/Download/Anatolia_paper.pdf より PDF ファイルをダウンロード可)

USGS (1999), Scientific Expedition to Turkey, Field Investigations of the 1999 Izmit Earthquake. (<http://quake.wr.usgs.gov/study/turkey/> に掲載)

Yilmaz, R. and Demirtas, R. (1999), The August 17, 1999 Izmit Bay Earthquake, NW Turkey. (公共事業住宅省防災局地震観測部での入手資料)