



特定研究報告 : 活断層と地盤の動きに関する研究の報告

宮田, 隆夫

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究成果報告会 発表論文集:1-8

(Issue Date)

1998-12-08

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/80020113>



活断層と地盤の動きに関する研究の報告

理学部 宮田隆夫

1. はじめに

サブテーマ(1)活断層と地盤の動きに関する研究は、桜井春輔教授を総括班長とし、19～22名の研究者が6つないし7つのグループを構成して行った。ここでは、研究の構成と関連性、研究の経過と3年間の成果について簡単にまとめ、神戸市街地の兵庫県南部地震による地面の動きと埋もれた活断層をさぐる研究例を報告する。

2. 研究の構成と関連性

本サブテーマは全体として被害特性と、地震動、活断層、地下構造、地形・地盤、液状化、構造物などとの関係が取り上げられた(図1)。本サブテーマの構成は平成9年度の報告書に従い次の[1]～[6]にわけられる。さらに、[1]と[2]はそれぞれA, Bサブグループにわかれ、[1A], [2B]のように表示した。

- [1] 淡路・阪神間の活断層と地下構造
- [2] 活断層の活動実体の解明と都市災害および地盤災害
- [3] 浅層地盤構造と地下水が盛土構造物に及ぼす影響
- [4] 兵庫県南部地震による活断層の活動と地下構造物の挙動に関する研究
- [5] 兵庫県南部地震による地盤災害に関する研究
- [6] 兵庫県南部地震のテクトニクスと強振動

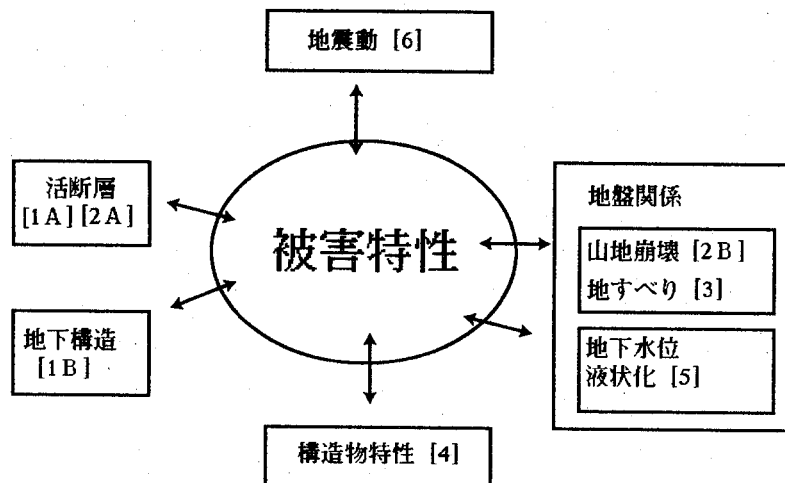


図1 サブテーマ(1)の研究グループの構成。数字は本文を参照。矢印は被害をもたらした関係を示す。

3. 研究の経過と成果

上記の研究グループ〔1〕～〔6〕について、3年間の研究経過と成果の概要を、特定研究「兵庫県南部地震に関する総合研究」平成7年度～平成9年度報告書（神戸大学、1996、1997、1998）にもとづいて以下に述べる。

〔1A〕 H7：神戸市街地の潜在活断層を明らかにするために地震で傾いた電柱と汚水桝の変形を検討し、神戸市街地の地面の動きを明らかにした。地面の動きは地形区分や地盤の違いだけでは十分説明できない部分があり、断層運動と関係づけて報告している。

H8：五助橋断層に沿う地盤変状の実態と断層運動との関係や、五助橋断層の活動歴、とくに慶長伏見地震との関係を調べた。その結果、神戸市灘区高羽町と芦屋市奥池における五助橋断層に沿って、系統的な右横ずれを示す亀裂の集中帯を形成すること、汚水桝の変位解析から、神戸市街地の地盤に著しい水平せん断が地震時に作用したことを明らかにしている。さらに、住吉山手の五助橋断層の断層発掘調査から1800年以前に断層運動、おそらく1959年の慶長伏見地震時の活動があったことを報告している。

H9：神戸市街地の新期堆積物に埋もれた活断層を地下レーダで探査した。また、H8年度から引き続いて、五助橋断層の完新世の活動歴との関係を調べた。地下レーダ探査の結果は後の研究成果例で述べるので、次に五助橋断層の活動歴の調査結果について述べる。変位地形および断層沿いのトレンチ発掘調査結果から五助橋断層は第四紀後期に活発に活動しているA級活断層であることが判明した。断層露頭および断層沿いのトレンチ発掘調査結果から五助橋断層は完新世後期にすくなくとも4回の地震イベントを起こした。また1回のイベントによる断層の水平変位量は約1.5m、地震再来期間は約1200年であると推定される。五助橋断層の最も新しい活動は京都-神戸地域に大きい被害を与えた1596年慶長伏見地震に対応すると報告した。

〔1B〕 H7：断層の地形に現れた形態と地下構造を明らかにするために、断層近傍浅部のVLF-MT調査を行い、同じ断層であっても断層近傍浅部の比抵抗分布は場所によって地形は地質などを反映して異なることを報告している。

H8：断層近傍で地下数10m付近までの地下比抵抗構造を明らかにするために、VLF-MT探査法を行い、断層を境とする電氣的構造（比抵抗構造）が明白に異なっている様子を明らかにしている。

H9：VLF-MT法をもちいて、断層の両側100m付近までの微細な地下比抵抗構造を検討した。その結果、地震断層および分岐断層とも明瞭な比抵抗境界に位置すること、今回の地震ではっきりとした変位が観測された断層に沿っては10 Ω m以下の比抵抗値を示す明瞭な低比抵抗帯が堆積層中に存在することが明らかになった。さらに、分岐断層および地震断層沿いであっても明瞭な変位が観測されない個所では顕著な低比抵抗帯は観測されなかったと報告している。

〔2A〕 H7：都市構造物に残された横ずれ変位運動の痕跡を調べるために、地震によって出現した系統的な変位・変状を追跡する調査を行い、神戸地域において今回

活動した断層を報告している。

H 8 : 淡路島東海岸の埋め立て地において、基盤中に生じた地震断層の延長上でみつけた亀裂、六甲山地尾根付近で見つかった変位・変状を調べ、淡路島東海岸の埋立地において、基盤中に生じた地震断層の延長上でみつけた亀裂や、六甲山地尾根付近で見つかった変位・変状をがもつ意味を指摘している。

H 9 : 断層運動にともなって生じた地表の変位あるいは地表に生じた「表面断層」と地下で地震を起こした「起震断層」の空間的な配置関係を考察した。その結果、上部地殻における深さ3～5kmを境とする成層構造が存在し、弾性的な地殻の下半部（深さ3～5kmから15～20km）における破壊・変位による「起震断層」と、上部地殻の上半部（3ないし5km以浅）の変位により地表に変位・変状をもたらした「地表断層」を区別できるとしている。

[2B] H 7 : 六甲山地を構成する花崗岩の性質（風化作用も含め）と斜面崩壊との関係を調べ、鶴甲の崩壊は大月断層に沿っており、過去の崩壊履歴地今回の地震で多数の亀裂が生じたため、亀裂付近からマサ化した花崗岩が滑る浅層崩壊が生じ、崩壊は降雨のたびに尾根に向かい進行したことを報告した。

H 8 : 長田地域を中心にボーリング資料や井戸から地下水位と地下地盤を調べ被害との関係を検討し、長田地域において地下水位が2mより浅い所で地震被害が大きいことを報告した。反射法地震探査によって、宅地地盤の沈下などの変状が出た場所の盛土と基盤との境界を明らかにしている。

H 9 : 斜面崩壊の要因を検討すべく構成岩石である六甲花崗岩を検討し、とくに沸石脈の存在と斜面崩壊との関係調べた。その結果、六甲花崗岩の中で磁鉄鉱系花崗岩は長石が粘土化するなど著しく変質し、もろくなって、急斜面地では地震動で容易に崩壊したものと推定した。さらに沸石脈が生じているところでは沸石脈に沿って滑動しやすく、地震で滑落したり、その後の降雨により、沸石脈に沿って滑り大規模な地すべりを起こしたものと考えられること、地すべりが生じた斜面の花崗岩中には沸石脈の存在がみられ、沸石脈の存在と地すべりとの関係は相関が高いことを報告した。

[3] H 7 : 盛土がどのような機構で変状をおこすか、造成地盤の変状との関係を調べ、神戸市街地の地質別宅地の被害、地盤変状発生率、年代別地盤変状発生率などを報告している。

H 8 : 兵庫県南部地震により発生した宅地地盤変状地であつ既存ボーリング資料が収集できた地点に近接する道路上において、盛土層と基盤層との境界面の把握を目的として、反射法地震探査を実施し、反射式地震弾性波探査装置を用いて、擁壁および宅地変状被害の大きな場所と被害のなかった場所で宅地浅層地盤構造を求めた。さらにそれから、動的応答解析のための断面図を被害の大きかった場所とそうでない場所で作成している。

H 9 : 反射法地震探査法により明らかになった浅層地盤構造と地震時の動的応答解析を行った。解析は、応力-ひずみ関係の非線形性を等価線形化法で近似する

SperFLUSH をもちいて、2断面で地震時の動的応答解析を行い、宅地地盤の変状の原因を求めている。

[4] H7 : 直下型地震が及ぼすトンネルへの被害状況調べ、トンネルは地上の建物に比較して概ね地震に強いことを明らかにしている。

H8 : 地殻ひずみ場の評価として、GPS 測量による兵庫県南部地震前後の長大切り取り斜面の変形挙動を解析し、地震前後において斜面に 12mm 程度の水平方向の変位が生じていることを報告している。

H9 : 高周波まで観測可能な地震観測システムの構築と、内陸直下型地震の観測およびその分析と観測記録にもとづき内陸直下型地震に対する地下構造物の挙動を解析した。その結果、兵庫県南東部を震源とする 5gal~10gal 程度の地震は、ばらつきがあるものの水平動と上下動はほぼ同程度の大きさの最大加速度となることを明らかにしている。

[5] H7 : 地盤災害の中でおもに臨海地域における地盤災害、とくに人工埋立地盤の液化化を調査し、臨海埋立地の支持基盤である神戸港域海底地盤の状況、ポートアイランドにおける地震波記録による臨海埋立地地盤における地震動と液化化との関係を考察している。さらに、被害形態から液化化の助けなしに地盤や構造物の破壊は説明でいきない事例も多数見られることを報告している。

H8 : 本震前後に得られた地盤計測データに基づき埋立地盤の変状解析と、臨海埋立人工島の動的地盤応答解析を行った。その結果、地震によって地盤内の砂質土層では間隙水圧が急増し、地盤の剛性が低下することを明らかにしている。

H9 : 地盤の液化化強度推定のために有用なサウンディングと、ポートアイランドと六甲アイランドの地震動特性及び盛土の液化化強度・圧縮特性の比較を行い、地震による埋立地盤の変状特性を検討した。その結果、神戸ポートアイランド及び六甲アイランドにおいて、地表面～沖積粘土層下端の加速度増幅率に相違があり、神戸ポートアイランドで増幅率が大きいことが、また、液化化強度については六甲アイランドの泥岩土の方がマサ土に比べて大きい強度をもつことが判明した。しかし、泥岩土は拘束圧の影響を大きく受け、埋立層深部においてマサ土と泥岩土の液化化強度に大きな違いはないことを指摘している。一方、液化化後の圧縮沈下特性に関しては、従来のきれいな砂について報告されている最大せん断ひずみと相対密度を主要影響因子とする関係図を、細粒分と礫質土を含む盛土材料には適用することが難しいことを述べ、最大せん断ひずみの代わりに供試体のもつ許容変形量(累積ひずみ)の密度を主要影響因子として圧縮沈下特性を分析することが必要であると指摘している。

[6] H7 : 過去の大地震を研究事例として、神戸側にみられる余震域の分布と活断層、震度 7 の激震帯との関係を取り上げ、神戸側の地震断層の位置は余震域(既存の活断層域)と細長い激震域の間に推定されることを述べた。

H8 : 野島平林での地震計アレイ観測から、断層を挟んで両側で地震波形が著しく変化することを報告している。とくに断層東側 30~40m にわたって約 10Hz 以

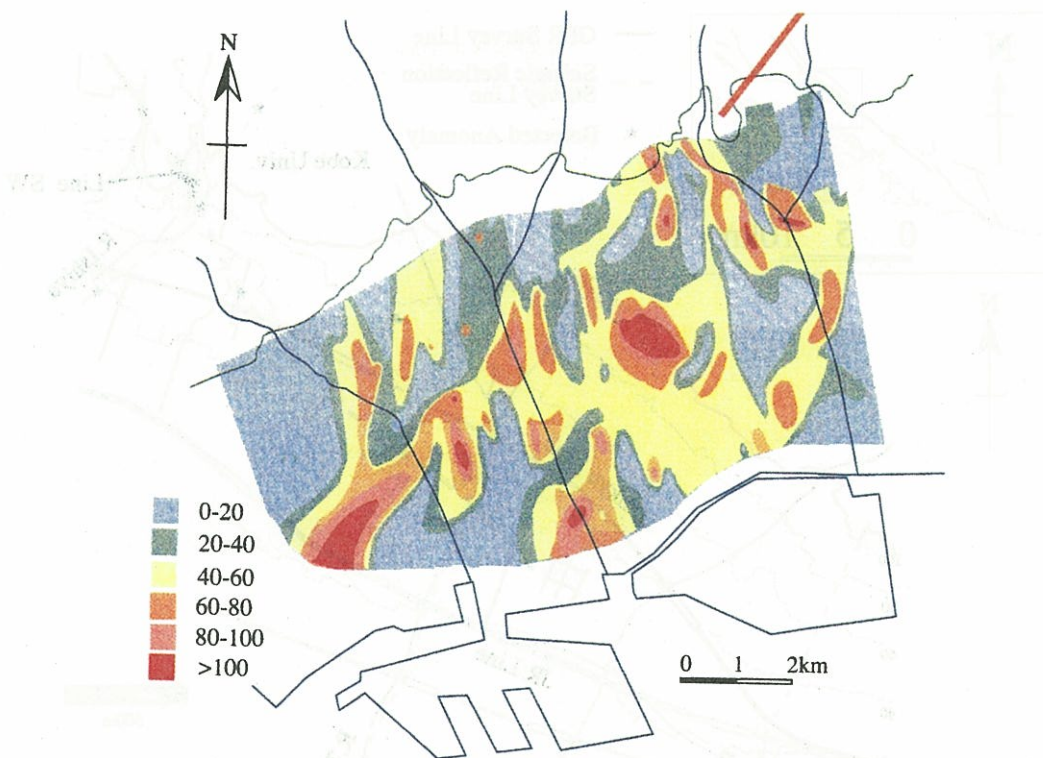


図2 汚水処理場の水平方向の変位から求めた水平せん断の規模(苦瓜・宮田, 1998). 数字は撃力 ($d\sqrt{s} [cm^{3/2}]$) の程度を示す. 赤い実線は五助橋断層を示す.

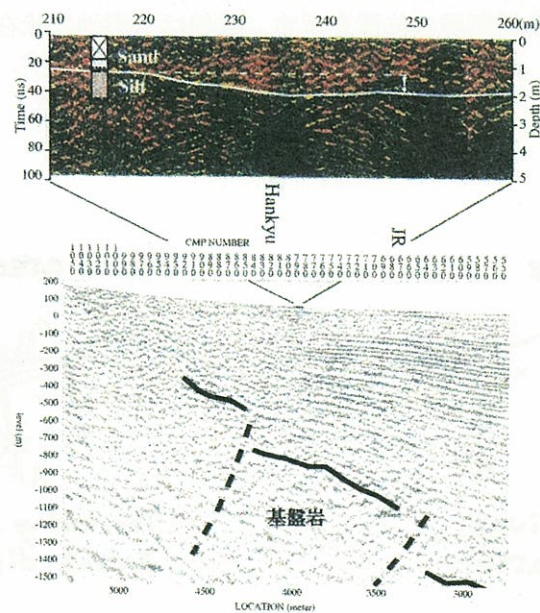


図3 反射法地震探査による深度断面図(下図)と地下レーダ探査による時間断面図(上図). 下図の伏在断層の直上で上図に示すシルト層・砂礫層の境界面が約80cm撓曲する. シルト層は約5000年前に堆積した地層. 上図の左にハンドボーリングの結果を示す.

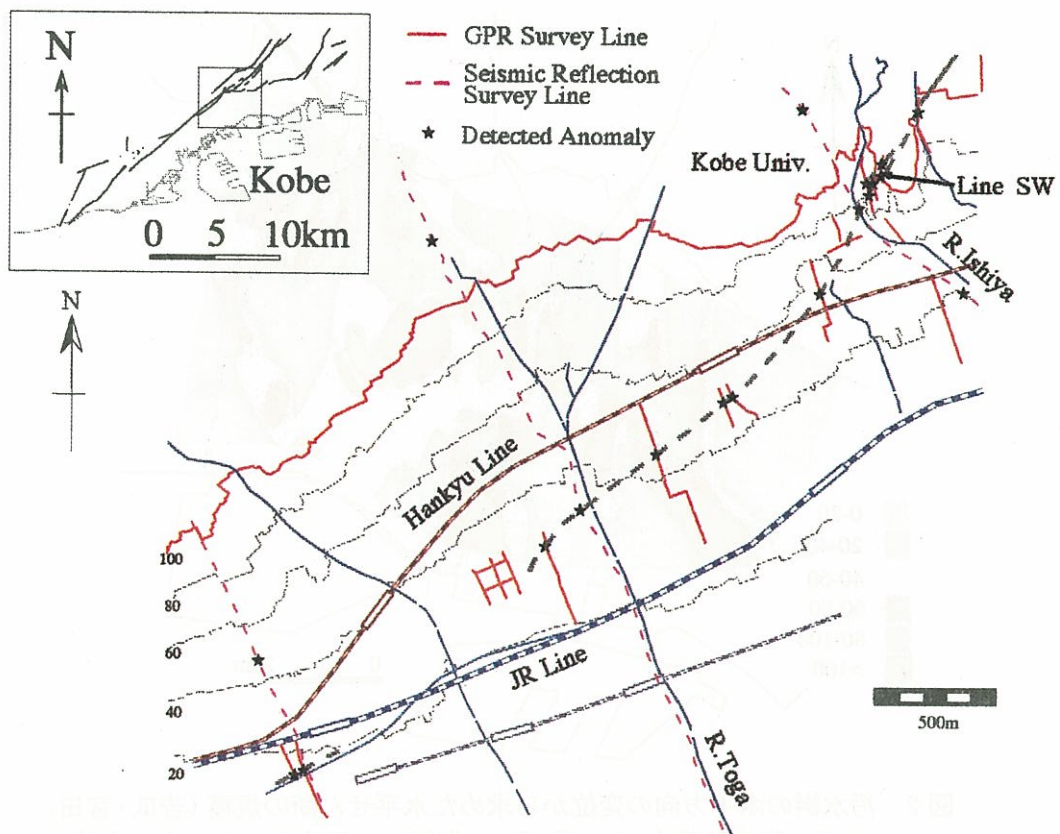


図4 地下レーダ探査側線と反射法地震探査側線. 図の右上の実線は六甲山地の五助橋断層の位置を示す. 破線は市街地に伏在する五助橋断層を示す. 星印は地層の不連続・撓みの位置を示す.

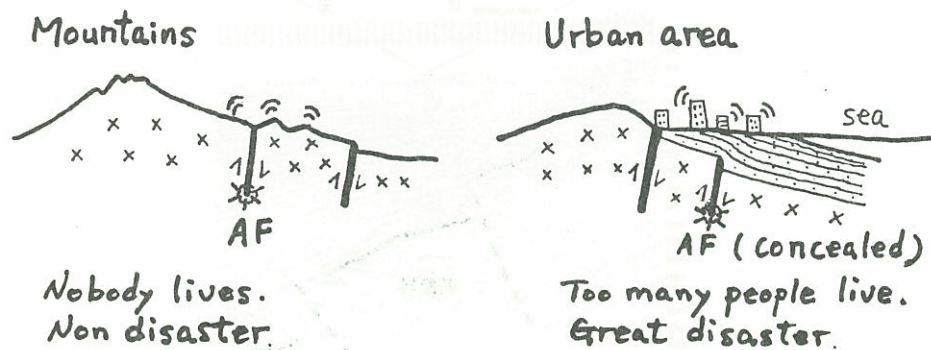


図5 山地(左図)と都市(右図)の活断層と内陸地震. AFは活断層. 都市圏では厚い堆積物が活断層の一部を覆っている. 多数の人間が住む都市圏では内陸地震で大災害となる.

上の高周波の波が大きく減少していることを明らかにした。これは断層破碎帯による地震波の散乱、減衰による影響を示すとして、断層周辺域における地殻の浅部構造の変化を指摘した。

H9：兵庫県南部地震の際に生じた激震動発生の物理的メカニズムや、観測加速度波形のエンベロープインバージョンにもとづいた断層面上における高周波生成過程を検討している。その結果、兵庫県南部地震の際に阪神・淡路の激震域に局在した激振動が発生し、それが激震域の被害を大きくした機構を論じている。また、2-10Hz 高周波地震波の主たる生成域の広がりが水平方向に 40-50km であることや、震源断層が地表に現れた野島断層のところでは低周波、高週はともに大きいこと、断層面の不連続があると思われる淡路島北端部で高周波の励起が大きかったことを報告している。

4. 研究成果の例

(1)神戸市街地の地面の動きをさぐる

兵庫県南部地震による神戸市街地の地面の動きを調べるために、電柱の傾き方と汚水桝の変位に注目した。これらのライフラインの被害を使って地面の動きを広域的かつ定量的に求めた例は始めてであり、国際会議でも注目された。ライフラインを使ったことで、得られたデータの密度が高くなったこと、それぞれの規格がほぼそろっていることからデータの比較がやりやすくなったので、従来から行われていた墓石による調査結果より高密度の結果が得られた。その一部をまとめたものが図2である。詳しい内容はすでに特定研究の報告書を始め、学会誌(例えば、苦瓜・宮田, 1998)などで報告したので、ここでは簡単に説明する。

図2は汚水桝の水平方向の変位から求めた水平せん断の規模を示す。著しく動いた個所は、スポット状あるいはライン状に分布している。スポット状、ライン状のいくつかは地盤特性に関すると考えられた。他方、ライン状のものは既存の活断層の南西延長部に現れているようにみえる。

(2)神戸市街地の隠れた活断層をさぐる

ライン状に被害が著しく現れた場所の一つに神戸大学南方がある。平成 8・9 年度に地震後、神戸大学都市安全研究センターで購入した地下レーダ探査装置をもちいて、その地域の地下浅部構造を調べた。地下レーダイメージによると地表から 5m ないし 7m までの地下に地層の不連続(ずれ、乱れ)や撓みがみられ、その不連続・撓みの位置は反射法地震探査でみつかった伏在断層を断層面の傾斜を考慮して地表へ投影した場所とよく一致する(例えば、宮田・苦瓜, 1998)。その結果の一部を図3に示す。図3の下図は兵庫県が地震後調べた反射法地震探査で明らかになった基盤にみられる伏在断層である。図3の上図は地下レーダ探査でみつかった新しい堆積物が 80cm ほど上下に撓んでいる。この撓曲した構造はちょうど下図の伏在断層を地表に延長した場所にあたり、この場所より両側に離れると探査側線に沿って地層がほぼ水平に分布しているので、撓曲構造はその伏在断層の真上にありその断層の動きにともなって形成されたと考えられる。その撓んだ地層は都賀遺跡の調査(神戸市教育委員会, 1998)によると縄文中期の遺物を含む地層とされている。したがって、縄文時代中期以降に地下の伏在断層が活動している可能性が高く、その伏在断層は活断層であることが判明してきた。この断層ののびていく方向を地下レーダで追跡すると、図4の破線のように神戸大学の南側を北東方向に親和女子高等学校付近までのびることが判明してきた。この線と上述の被害が著しく現れた線とはよく一致しており、その伏在活断層に沿って著しい被害が出ていると判断される。この断層線は強震動の解析(入倉, 1995)やコンビニ店の防犯カメラが取ったビデオ解析(菊地, 1995)、科学技術庁の空中写真による地面の変位解析(田中, 1996)から推定された震源断層の地表への投影位置

ともよく調和している。地下レーダは都市部（平野部）の伏在活断層の位置を推定するのに直接的であり、また伏在活断層の地表付近の構造を知るのに有効な方法となることがわかった。

5. おわりに

本サブテーマの調査・研究により、六甲山地を含め神戸側の被害特性—亀裂、地表変位、地すべり、山地崩壊、液状化、地下構造物の被害など—が浮き彫りになった。これらの成果を総合すると、神戸側でも震源断層（活断層の地下の地震を起こした部分）の動きにともない、図1に示すように地震動、断層変位、地形・地盤特性、地下構造（破碎帯、不整形）、構造物特性などが複合し、著しい被害域を形成したと考えられる。多数の人間が住む大都市圏では内陸地震は大災害につながる（図5）、レベルⅡの地震動を引き起こす活断層の把握は重要である。本特定研究で得られた基礎的なデータの多くはレベルⅡの地震動と都市の震災軽減を考えるうえで貴重である。

参考文献

- 入倉孝次郎：兵庫県南部地震の震源断層、強震動と被害の特徴。物理探査，v. 48，pp. 463-489，1995。
- 菊地正幸：兵庫県南部地震の震源断層—防犯カメラが記録した地震動を読む。科学，v. 65，pp. 569-572，1995。
- 神戸大学：特定研究「兵庫県南部地震に関する総合研究」平成7年度報告書，神戸大学，pp. 1-14，1996。
- 神戸大学：特定研究「兵庫県南部地震に関する総合研究」平成8年度報告書，神戸大学，pp. 1-474，1997。
- 神戸大学：特定研究「兵庫県南部地震に関する総合研究」平成9年度報告書，神戸大学，pp. 1-582，1998。
- 神戸市教育委員会：1998，平成9年度都賀遺跡第9次発掘調査実績報告書。神戸市教育委員会，pp. 1-12，plates 6。
- 宮田隆夫・苦瓜泰秀：都市の埋もれた活断層を地下レーダで探る。神戸大学都市安全研究センター研究報告，n. 2，pp. 263-272。1998。
- 苦瓜泰秀・宮田隆夫：汚水樹の水平剪断から推定した1995年兵庫県南部地震による神戸市街地の激力分布。地質学雑誌，v. 104，pp. 199-209，1998。
- 田中耕平：1995年兵庫県南部地震による地表面変位量図。防災科学技術研究所，pp. 1-53，1996。