1995年兵庫県南部地震の地震断層

中 田 高* 蓬 田 清** 尾高潤一郎*
坂 本 晃 章*** 朝 日 克 彦* 千 田 昇****

Surface Fault Ruptures Associated with the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake

Takashi NAKATA*, Kiyoshi YOMOGIDA**, Jun-Ichiro ODAKA*,
Teruaki SAKAMOTO***, Katsuhiko ASAHI* and Noboru CHIDA****

Abstract

Distinctive ruptures of the surface faulting which generated the destructive 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake ($M_s=7.2$) appeared along the Nojima fault, an active fault on the northwestern coast of Awaji island, Japan. The surface fault ruptures in Awaji island extend southwestward continuously for about 9 km from Easki near the epicenter to Toshima in Hokudan town, and caused prominent right-lateral off-sets of 1.9 m at maximum on roads, paddy dikes with vertical displacement of 1.2 m at maximum, while no large surface faulting has been reported in Kobe where major damage and casualties have appeared.

Most of the surface ruptures follow along the pre-existing active fault traces of the Nojima fault. The ruptures are generally arranged in left-stepping echelon, and local extensional and compressional jog forms such as trenches, mole tracks, buldges are sometimes related to changes in fault strikes.

The earthquake fault seems to have propagated bilaterally northeastward and southwestward from the hypocenter in the Straits of Akashi near the major jog of the earthquake fault system. The source process of the earthquake deduced from the slip distribution along the earthquake fault in Awaji island well explains near-field P-waveforms of broad-band seismometers for early part in about 4 seconds. The later part of much larger amplitude should attribute to the northeast fault ruptures toward Kobe.

* 広島大学文学部地理学教室

** 広島大学理学部地球惑星システム学科

*** 北淡東中学校

**** 大分大学教育学部地理学教室

* Department of Geography, Hiroshima University

** Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

*** Hokudan-Higashi Junior High School

**** Department of Geography, Oita University

I. はじめに

明石海峡付近に震源を持つ、1995年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震 ($M=7.2$) は、都市直下型地震であったため甚大な被害を発生させたが、その発生源として活断層がにわかに世間の注目をあびるところとなった。地震を発生させた断層は、淡路島の北に位置する震源から北東と南西の双方向に破壊が伝播したと考えられる。特に被害の大きかった神戸市街地やその東部周辺地域では、これまでの調査によって顕著な地震断層が地表に達したとの報告はなく、伏在する活断層が僅かな変位を伴う北東-南西方向の右雁行配列をする短い断層群として地表に現われているに過ぎないと推定される。

筆者らは、淡路島の北西部でこの地震の発生源の一部となった地震断層が、北淡町(ほくだんちょう)の北部・江崎灯台付近から富島(としま)にかけて南西に向かって約9 km 連続的に現われていることを発見し、この地震の一部が活断層である野島断層(活断層研究会, 1991)の再活動によるものであることを明らかにした。本論文では、地震直後の現地調査によって淡路島に現われた地震断層の詳しい分布とその変位量を報告し、地震断層の変位量分布をもとに今回の地震を起こした断層の震源過程について検討する。

II. 地震断層の概要

今回の地震の発生源となった野島断層は、近畿三角帯北翼をなす有馬一高槻~六甲~淡路島活断層系の一部を構成するものである(図1)(藤田, 1974; 池辺, 1965)。活断層研究会(1991)によれば、北東-南西に延びる長さ7 km の確実度I、活動度B級の活断層とされ、その北部の詳しい位置は水野ほか(1990)が正確に図示しており、地震断層がまさに活断層に沿って出現したルソン地震の例(中田ほか, 1990)とともに極めて象徴的である。

活断層としての野島断層は、平林の段丘面のずれを除けば新しい運動を示す地形学的証拠は必ずしも多いとはいえず、山地の前面の断層崖や基盤

の花崗岩と神戸層群や大阪層群との断層露頭などでその存在が推定されていた。今回、地震断層が現われた南部の2 km には、活断層の右横ずれによる谷の不明瞭な屈曲が認められるが、これは地震前には確認できていなかった。

地震断層は、既存の野島断層に沿ってほぼ山地と山麓緩斜面(土石流性の堆積面)の境界を南西に向かって延びている。断層線は連続的に認められるといっても、地表では一本の直線あるいは曲線として認められるものではなく、長さ1~2 km の左雁行配列をする何本かのセグメントに分けられ、またそのセグメントも左雁行配列をなす断層線(トレース)から構成されている。また、そのトレースも更に短い地表の破断面から構成されており、全体としてフラクタル構造をなしている(Matsumoto *et al.*, 1992)。断層の走向は全体としてほぼ $N40^{\circ}E$ であるが、これもセグメントごとにわずかではあるが走向を $N30^{\circ}E \sim N60^{\circ}E$ に変化させる。

III. 地震断層の位置と変位量

今回の地震により発生した地震断層は地表を破断する新鮮な割れ目として追跡され、道路、小径、水路、畦、フェンスなどの食い違いなどから断層変位の様式と変位量を知ることができる。断層帯は概ね幅2 m 前後であり、この中にテンションクラック(tension crack)や凹地、モールトラック(mole track)状の膨らみなどの微地形が発達する。tension crack は逆ミの字状の配列(left-step echelon)を呈している。地震断層の観察から、今回の地震を発生させた断層運動は、右横ずれ変位成分が卓越するものであることが確認された。これは、既存の活断層から推定される変位様式および今回の地震の発震機構(菊地, 私信)と調和する。

縦ずれ変位のセンスは南東上りが卓越するが、地域的に変化するところもある。これも既存の活断層の縦ずれ変位センスと調和的であるが、局地的には横ずれ変位に伴う見かけ上のものである場合もある。

地震に伴って地表に現われた断層線は、図2-A

図 1 研究地域の位置

図中の太破線・細破線は活断層。研究地域を示すアミの中の大線が野島断層。接峰面および活断層は活断層研究会（1991）より抜粋。震源を★で示す。

に示すように江崎灯台の北に出現し、 $N50^{\circ}E$ の走向で江崎桃林寺の北西を通って南西に延び、山裾に沿って江崎地区の南端に達する。そこから断層線は右方向にステップし、走向を $N40^{\circ}E$ に変え平林集落東の採土場の北西の崖を南西に走り、簀（えびら）川を渡る。ここで水田の畦を 2m 以上変位させ、今回の地震で最も大きな変位を記す。直線的に延びる断層は大川の集落を横切り、大川を渡って一度山林の中に入り追跡が困難となる。

轟木の集落の北端で左雁行した断層線が現われ、南に向かって山麓線に沿って左雁行状に延びる。野島の小学校の裏の水田を通り野島川に達し、一度消滅する。川から約 50 m の果樹園に再び現わ

れ、走向を次第に $N50^{\circ}E$ に変えながら梨本の集落を横切り、小倉の採土場跡地の造成地に明瞭な断層崖を形成して小倉川を渡り、富島に達し、簡易保険センターの付近で連続性を断たれる。更に南では崖崩れが集中し、寺社などの被害が大きい地域があるが、地震断層は直接発見できない。

高知大学のグループの調査によって、北淡町の中心集落である富島の南西約 5 km までは、断片的に右横ずれ変位を伴う地表面の破断やうねりが認められることが報告されている。また、主断層とは別に梨本の南から折ヶ谷池に向かって分岐する南北に延びる副次的な断層の存在が、ダイヤモンドの高瀬信一・荒木龍介両氏によって発見されている。淡路島の北端部で、地震断層と

図 2 淡路島に現われた地震断層とその変位量
A : 江崎～大川, B : 大川～富島

考えられる地表のずれは淡路町岩屋の西方，明石海峡のケーブルアンカーの西にある港池公園付近の主要道に2個所に右横ずれを伴う地割れがあり，センターラインが顕著に右横ずれをしている。かなり幅広い範囲で変形が起こっており，断層の走向を測る事がかなり困難である。変位はトータルで1m 近くに達し，明石大橋の橋台などの移動を考えれば地震断層の可能性が高いが，確認のためにはなお調査を要する。この地震断層と考えられる地表変位は野島断層上には位置していない。

以下に，地震断層の位置や変位量を中心に地域毎にやや詳しく記載する。地震断層位置図には，現地調査によって計測した断層変位量を示す。これらは断層変位の相対的隆起側にメートル単位で記され，左側の数値が横ずれ量，右側の数値が縦ずれ量を示す。？のついた数字は計測値の信頼性が低いもの，一は計測不能あるいは未計測を意味する。狭い範囲で変位量が大きく変化する地域もあるが，採用した数値はそれぞれの地域を代表すると考えられるものである。実変位量＝ネットスリップ (net slip) は，横ずれ変位量と上下変位量，および水平短縮／伸張量の合成値で求められるが，水平短縮／伸張量を計測することができない場合が多く，正確な値を求めることは困難である。

記載にあたっては，断層線が雁行状に乗り換える主な jog と呼ばれる地点を境に，野島断層沿いの地震断層を5つのセグメントに区分して行なう。それぞれのセグメントの境界付近では，断層変位量も小さな傾向が認められ，断層の破壊の伝播過程で重要な境界になっている可能性がある。上記5つのセグメントは，1) 江崎灯台～桃林寺，2) 桃林寺～平林，3) 平林～大川，4) 大川～野島川，5) 野島川～富島の各セグメントである。

1) 江崎灯台～桃林寺 (図 2-A)

淡路島北端部で野島断層に沿って海岸近くで地震断層がはっきり認められるのは，江崎灯台の西に位置する主要道の破壊と灯台に通じる石段の右ずれ変位である。石段は1.2m の右ずれ変位を受けている (写真1)。地震断層は，ここから南西に $N50^{\circ}E$ の走向で斜面のやや上方を横切り，斜面

写真 1 江崎灯台への石段のずれ
右横ずれ1.2m を示す。

崩壊を引き起こしている。杖木池付近で谷に下り，ここから山麓線に沿って追跡される。杖木池西の谷中では基盤岩に幅1m の割れ目が形成され，長谷池の南では山麓部に逆ミの字状の crack が認められ，右ずれ0.5m，南上がり0.55m の変位量が得られる。ここから地震断層はやや南に向きを変え山中に入り，谷山下池付近からトレースは不明瞭となる。地震断層が再び明瞭に現われるのは谷山下池の南約100m に位置する水田であり，この間で断層線は右方向にステップしていると考えられる。なお，この水田での変位量は右ずれ0.2m，南上がり0.1m である。

2) 桃林寺～平林 (図 2-A)

地震断層は，江崎川を渡ると山麓線からやや離れ，わずかに屈曲しながら $N50^{\circ}E$ の一般走向で扇状地面上を通過し，田畑に右ずれ，南上がりの変位を与える。断層の真上に位置する送電線鉄塔は，基礎地盤の変形のために脚が曲がり，西に傾いてしまった。この鉄塔から断層の走向は $N60^{\circ}E$ とわずかに西向きになり，棚田上に連続的に変位を与える (図3)。棚田上の断層は，逆ミの字状の開口亀裂の形をとり，断層帯の幅2～5m，亀裂の幅は広いもので数十cm と極めて明瞭である (写真2)。ここでの変位量は右ずれ0.8～1.5m，南上がり0.25～1.0m である。この棚田の最上部

図 3 桃林寺南の地震断層のトレース

写真 2 桃林寺南 300 m に現われた地震断層沿いの開口亀裂

に位置する送電線鉄塔から、トレースはノの字状に屈曲し田畑を通過するが、変位量は次第に小さくなり、亀裂も小さくなる。この鉄塔の西約200

m の水田で局地的に北側隆起となる。これ以南は断層線はやや山側を通るようになり、数カ所で斜面崩壊を引き起こしている。この水田から約150 m 西の水田の畔には右ずれ1.2 m、南上がり0.25 m の変位が認められ、さらにそこから約150 m 西の又賀氏宅裏では家庭菜園の境界に、右ずれ約1.0 m、南上がり約0.35 m の変位が認められる。この住宅地の西約400 m の水田上には $N45^{\circ}W$ の分岐断層が現われる。これ以南は走向約 $N40^{\circ}E$ とやや南向きとなり、さらに平野側から離れ、斜面を横切るように通過する。ここから平林までの間、舗装道路と水路に変位を与え、変位量はそれぞれ右ずれ0.2 m と0.8 m であった。

3) 平林～大川 (図2-A)

地震断層は、平林の寄神建設の採土場でベルト

図 4 平林南の地震断層のトレース

写真 3 平林南の水田畔のずれ
右横ずれ 1.9 m, 南上がり 1.2 m で、野島断層沿いに現われた地震断層の最大変位量を記録している。

写真 4 平林南の水田畔のずれの地上写真
基盤の上の軟弱層が薄いため変位構造がシャープである。水平短縮のため軟弱層が断層変位の過程で前面に落下している。

コンベアの切り通しを横切り、その北側斜面を大規模に崩壊させる。簗川右岸の道路の法面にも大きな崖崩れを引き起こしている。簗川左岸の段丘面の水田の畔道は、右ずれ 1.9 m, 南上がり 1.2 m の変位を受け、今回の調査で明らかにされた最大の変位量を示し、顕著な低断層崖を出現させた（図 4；写真 3, 4）。この低崖の走向は N 45°E で、直線的なトレースを示す。この直線的なトレースはさらに南の採土場跡地に続き、N 40°E の走向に直線的な低崖と逆ミの字状の雁行亀裂帯が連続している。この南では高松集落の神社の南北の道路がそれぞれ右ずれ 1.2 m, 南上が

り 0.6 m と右ずれ 1.2 m の変位を受け、森田 実氏宅の庭では右ずれ 0.8 m の変位が認められている。大川公民館の南の道路では水平短縮により断層線上の水路の蓋が右方向に歪み、跳ね飛ばされていた。さらにその南側の道路では右ずれ 0.9 m の変位が認められた。大川右岸の棚田には逆ミの字状の雁行亀裂が連続的に現われ、大川沿いの畔道には右ずれ 1.2 m, 南上がり 0.55 m の変位が認められた。大川左岸から断層線は山中に入り確認し難くなる。

写真5 轟木のビワ畑のモノレールの変位
支柱はそのまま残り、レールが引き離されている。
断層変位速度が大きかった事を暗示している。変位
量は右横ずれ1.4m。

4) 大川～野島川 (図2-B)

大川の南では地震断層は長さ600mにわたって山地斜面の藪の中を横切するため、適切な変位基準がなく変位量を計測することが困難である。ところどころで、断層線が尾根を切り崖崩れを起こしているの、地震断層の位置を知ることができる。轟木の集落の北で小さな池の東を通過するが、変位量はごくわずかである。轟木の集落の東端に位置する農家の東側にある地震の神様を祭るという神社の東をN40°Eの走向で通過しこれを破壊し、道路に右ずれ約0.3mの変位を生じている。変位量は南に向かって次第に大きくなり、神社から南約100mの畔では右ずれ0.8mの変位を生じている。更に南では、地震断層は再び山地斜面を走り斜面にはっきりした破断を起こすが、変位量の計測は極めて困難である。ずれの方向を示す条痕(南上がり50度)を破断面に残しているが、これが直接断層運動によるものかどうかは判断できない。集落のはずれにある鶏舎の東には、ビワ畑の農作業用モノレールが斜面に直交して敷設されているが、断層変位によってこのレールが支柱からもぎ取られている。ここでの変位量は右ずれ1.4m(写真5)であるが、垂直ずれ成分は検出が困難であった。大石の集落の東では、断層は尾根道を右

写真6 梨本における道路の変位
右横ずれ1.2m。ここを境に北では北上がり、南では南上がりの垂直変位が記録されている。道路の舗装面が pressure ridge 的な盛り上がりを示す。

に0.9m横ずれさせ、野島小学校南東のため池の堰堤にあるコンクリートの排水路を右に1.05m横ずれさせ破壊する。野島の集落の南の県道を断層が横切るところでは、道路の舗装面が右に0.7m食い違う。

5) 野島川～富島 (図5)

野島川の南でわずかな割れ目と思われたN50°Eの地表の破断は、南に向かうにつれて次第に顕著となり、N50°Eの走向で南に延び、次第に変位量が大きくなり顕著な変位地形を出現させる。折ヶ谷池北の梨本集落付近では0.2~0.4mの北上がりの垂直変位が認められ、右横ずれ量も野島変電所の南では1mを超えるようになる(図5)。梨本の南西の谷の水田の畔をはっきり変位させ、野島変電所から南に延びる舗装道路に達する。ここでの断層の走向はN55°Eであり、道路はこれに沿って1.2m右横ずれする。断層に沿ってはbulgeが形成され、道路の舗装部が山型に盛り上がっていた(写真6)。そこから、ほぼ同じ走向で地震断層は直線的に南西に延び、採土場の跡地の造成地を横切る。ここでは、垂直変位は南上がりとなる。ここでは第三紀層の平坦化された地盤を変位させたため、地震断層は南上がり高さ0.5m前後の明確な低断層崖を200m以上にわたって出現させる(図6)。断層面そのものがオーバーハングした崖をなし、その走向・傾斜はN60°E、85°Sである。断層面には南上がり30度のはっきりした条痕が認められ(写真7)、これはこの付近の

図 5 野島川～梨本の地震断層のトレース
図の右下に南北に延びる枝分れ断層が認められる。

横ずれ変位量と縦ずれ変位量の関係から推定されるネットスリップの方向と調和的である。

小倉の造成地周辺には盛土による土地境界、排水溝、植木の列、コンクリートの塀など人工的な変位基準が豊富で、変位量を比較的容易に求めることができる（写真8）。地震断層は小規模な副次的な断層を伴ったり、わずかに右雁行状のステップをするところがあるが、おおむね直線的なト

レースを保ったまま、河野道伸氏宅の塀を破壊して敷地に入る（写真9）。庭に mole track を作り、たたきのコンクリートを破壊するが、幸運にも断層線はわずかに建物から離れたところを通過したため、大きな被害は免れている。敷地内の変位量は、排水溝のマス of の食い違いから右横ずれ 1.25 m が認められる。断層線はネギ畑の畝を食い違わせた後、小倉川を南に渡り、河野光男氏宅

図 6 小倉～富島の地震断層のトレース

写真 7 小倉の造成地に現われた断層面上の条痕
水平に置かれたペンの先が北東を示し、条痕は南上
がり30度を示す。

に達する。ここでも、幸運な事に地震断層は建物の北東角をかすただけで（写真10）被害は大きくなかったが、新築の和風の離れは地震断層が真下を走ったため完全に崩壊した。更に南では、今回の地震では多くが被害を免れた新しい軽い住宅の直下を通過した。このため建物の内部は右横ずれし、建物が使用できなくなった。地震断層は更にここから約300 m 南西に延び、簡易保険センタ

写真 8 小倉の造成地に現われた地震断層
南西から北東を望む。コンクリート造りの住宅は河
野道伸氏宅。

写真 9 小倉の造成地の地震断層崖
北西から南東を望む。断層変位量は、右横ずれ 1.2 m、縦ずれ 0.5 m。

写真 10 河野光男氏宅の勝手口の階段のずれ
地震断層は階段と建物の間を通った。変位量は右横ずれ 0.9 m、縦ずれ 0.2 m。

一の北東で変位量が小さくなり、連続性が断たれる。これより南では、顕著な変位を伴う地震断層は発見されていない。

一方、折ヶ谷川が低地に流下する付近から N-S 方向の副次的な地震断層が枝分れし、南へ約 500 m ほど続く(図 5)。折ヶ谷池の南岸では、地震断層は花崗岩と神戸層群を限る断層に沿ってではなく、急傾斜する神戸層群の中の断層に一致して出現する。断層はほとんど直立しており、断層面には多数の様々な方向の条痕があり、過去に多様な運動を繰り返してきたことをうかがわせる。池の南では断層のトレースは右にステップし、畑の畝を右に 0.4 m、東上がり 0.25 m 変位させる。更に南の採土場の斜面の雨裂を 0.2 m 前後右横ずれさせ、南へ次第に変位量を減少していく。

写真 11 梨本における地震断層のトレンチ壁面
地震に伴って地表は垂直的に 0.4 m 変位したのに対し、地下の黒褐色粘土層はその倍近い変位を示し、この断層が過去にも活動したことがわかる。

IV. 考 察

1) 地震断層と既存の活断層との関係

前述したように、淡路島北部に発達する野島断層は活断層として認定され(活断層研究会, 1991), その一部では活断層の位置が極めて正確に押さえられていた(水野ほか, 1990)。しかしながら、野島川から南の富島にいたる地域では活断層は事前に認定されていなかった。米軍の 1/4 万の空中写真の判読から、野島川と小倉川に挟まれた梨本の谷と現在造成地として埋め立てられている小倉川よりの谷に右横ずれを示す河川屈曲が認められ、この屈曲部に地震断層が出現した。梨本の谷における地震後のトレンチ調査では、地震断層が出現した断層面に沿って今回の地震以前に複数回の断層変位(地震)が発生していることが確認されており(写真 11)、河川屈曲を生じた活断層(野島断層の南への延長部)が再活動したことが明らかになっている。この断層から発生した地震の繰り返し時期については、愛知県立大学の鈴木康弘氏を中心に分析が行なわれており、今後年代測定の結果を得て別に報告する予定である。

2) 地震断層沿いの変位量分布

図 7 は、地震断層の変位量を一般走向(N40°E)に沿って上下成分と横ずれ成分に分けて示すとともに、この結果をもとにネットスリップの量を算出し提示したものである。断層変位の水平成分は、極めて局地的な部分を除けばどこでも右ず

図 7 地震断層の変位量分布
 ネットスリップに付けられた番号は図 9 の B の 5 つのパルスに対応する。

れであった。これに対して上下成分は概ね南上がりであるが、野島川～富島の区間では北半部で北上がり、南半部で南上がりを示している。変位量は水平成分と垂直成分とも平林付近で最大となるが、それもほかの地域に比較して際だって大きいとはいえず、どのセグメントでもネットスリップは 2 m 前後であった。それぞれのセグメントにおける横ずれ変位量分布は、セグメントの中央に

大きく末端部に小さくなり、セグメントの境界では多くの場所で変位が認められない部分がある。またセグメントの境界は、断層線が屈曲したりステップする jog にあたっており、これらは横ずれ断層特有の破壊プロセスに関連するものと考えられている。

3) 地震断層の破壊過程

ここでは、調査した地震断層と、現在まで得ら

図 8 1995年1月29日正午から24時間に起こった余震の分布図
震源を★で示す。

(本図は、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、高知大学理学部の地震観測網のデータを東京大学地震研究所において自動処理して得られたものである。)

れている地震データのいくつかを組み合わせ、兵庫県南部地震時の断層運動の概略を推論する。図8は、1995年1月29日正午から24時間内の余震分布図である。本震後に臨時観測点を震源付近に多く設置したので、より精度の高い余震分布図が今後得られるはずで、本研究の地震断層との関係がより詳しく議論できるはずである。本震の震源は、野島断層の北端の明石海峡付近とおおよそ考えられるが、神戸側の被害地域の延長線上のどこか、淡路島の地震断層の北端とどうつながるのか、といった詳しいことは明らかではない。いずれにしても、本震は活動したと考えられる断層系のほぼ中央付近から南西および北東の双方向に破壊面が広がっていったことがわかる。震源の位置する明石海峡付近は、南西側の野島断層の走向と北東側の神戸側の被害地域との走向が異なる位置にあり、右ずれ断層とすると、圧縮性バリアーから

断層破壊が始まると考えてよい (Sibson, 1986; King, 1986)。余震分布図も、おおよそは地表に現われた地震断層や神戸側の被害が集中している地域と一致する。細かくみれば、淡路島側では余震分布が野島断層より西側に寄っていたり、神戸側でも被害が大きかった須磨区から三宮を通して西宮市南部にわたる地域よりも、余震分布は北側になっていたり、食い違いもみられる。これらについては、余震分布のより精度の高い結果が得られた後に、改めて検討しなくてはならないかもしれない。なお、余震活動については、若干の場所的に集中している地域もあるが、ある程度は本震時に活動したと思われる断層上にわたって分布していると考えられる。

本研究で明らかになった断層運動と地震波発生については、かなり定量的な関係が議論できるはずである。世界各地での長周期地震記録を用いた

図 9 近地での広帯域地震計による P 波の鉛直成分速度記録
SHK (白木), JIZ (中伊豆), MAJO (松本) の観測点の記録で、初動を横軸の 10 秒に
合わせている。3 つの部分 (A, B, C) に分けられ、B には 5 つほどのパルスがわかる。
(本図は、東京大学地震研究所の Gopher システムより得られたものである。)

発震機構のインバージョンによると、この地震は $N45^{\circ}E$ のほぼ純粹の右ずれ断層であり、10 秒ほどでその運動が終わっている。この 10 秒間の後半に若干の北東側でのモーメントの放出はあるものの、大部分の放出は前半に集中し、南西方向に位置する (菊地、私信)。このことは、今回の断層調査と次の点で調和的である。(1) 淡路島の野島断層では変位量が 1 m 以上の地震断層が 10 km 近くにわたって認められたのに対して、神戸側では大きな変位の断層がみつかっておらず、長周期成分から求められる地震波としてのモーメントの放出は、震源から北東側は小さい。(2) 神戸側の被害状況および報告されている大きな加速度等からみて、震源から北東側の断層については高周波地震波は大きく放出されたが、上のような遠地記録で取られるような大きなモーメントの放出はなかった。これは、神戸側の断層は変位量そのものがそれほど大きくないが、小さな割れ目がいくつもつながっているような不規則な破壊面の伝播あるいは急激な断層運動があったはずで、神戸側で報告されている断層と思われるいくつかの例にあてはまる。

おおよその断層運動と地震波の発生は関連づけ

られるが、より高周波地震波がみられる近地地震記録により具体的な断層運動が推定できる。現在、日本にはいくつかの広帯域地震計が設置されており、このような大地震時においても十分に信頼できる記録が取れる。図 9 は SHK (白木), JIZ (中伊豆) および MAJO (松代) の垂直成分速度記録のうち、P 波の部分を拡大したものである。震央距離は、それぞれ、214, 366, および 355 km, また震央からの方位は、266, 54, 85 度 (北から時計まわり) である。つまり、SHK はおおよそ断層の走向に対して直角であるが、MAJO は震源から神戸側の断層の走向に近い。この図では各記録での初動の時間を一致させた。地震記録、特に高周波領域では、断層運動そのもののほかに地震波の伝播や観測点近傍の構造が影響する。ここではそれらの詳しい影響は考えないが、大きな地震を比較的近くで観測した P 波の初めの部分ということから、波形を断層運動そのものと直接結びつけて解釈してもそれほど大きな過ちはない。これらの図からまずわかることは、どの記録にも初めに 3 ~ 5 秒くらいの極めて微弱な波がまずやってきて (図 9 で A の部分)、続いて 4 ~ 7 秒くらいのやや大きいいくつかのパルスが到着している

(B)。それらの後に、大きな振幅を持った揺れが8秒間くらい続いている(C)。遠地地震の研究では、後続のBやCの大きな振幅の波のみ記録にみられ、大きなモーメントを放出した第一のイベントとして解釈されたものと考えられるが、実際はこれに先行した断層運動(A)があったことがわかる。さらに注目されるのは、これらの観測点において、先行した揺れ(AやB)の継続時間が大きく異なっている点である。SHKは約8秒して大きな揺れ(C)が観測されるのに対して、MAJOは12秒近くもかかっている。また波形をよくみると、特にBの部分については各観測点ともたいへんよく似ている。しかしSHKがその波形の山谷がつまっているのに対して、MAJOではその間隔が広がっている。観測点の配置から考えて、これは断層の走向に沿って北東方向にあるMAJOから離れながら地震波を放出する断層運動を示唆している。

SHKは断層とほぼ直交する方向にあるので、この記録が地震波を発生させた断層運動の時系列を表わすと考え、これと本研究で求められた地震断層の形態との関係から、断層運動を再現してみる。本震の開始から4秒位(A)は、おそらく地下の震源からMAJOからやや遠ざかる方向、すなわち南西の野崎断層に沿って弱い破壊が広がっていった。ここまでは高周波の放出も少ない。ついに破壊面が地表に達して、MAJOから遠ざかる方向、すなわち南西に4秒くらい伝播した。これが野島断層にあたると考えられ、この間の地震記録と野島断層でみられた変位量分布(図7)との対応はかなりよく、5つほどの顕著な地震記録上のパルス(図9中の1~5で示す)と大きな変位量の個所がよく対応する。破壊面の伝播速度を2.5 km/s とすると、その長さは約10 km となり野島断層の長さとも一致し、また、MAJOではこのBの部分の長さが2~3秒長いことは、この部分の開始に比べて終わりの部分が10 km ほど離れたところからやってきたとすると説明できる。震源から北東側の破壊面の伝播は時間的にはBの部分に対応するはずであるが、その走向にあるMAJOでは記録には現われないことから、極め

写真 12 敦盛塚の被害(神戸市須磨浦公園近く)
塚の上部の石が西に飛ばされている。地震の亀裂は画面の下中央から右手の石垣の基部に連なる僅かのものである。

て小さな断層運動であったと考えられる。この部分の4秒間で明石海峡をわたって神戸側に広がったと思われるが、この付近で揺れが小さく、被害が相対的に小さかったことも調和的である。最後に、後半の振幅の大きな部分(C)をみると、SHKに比べるとMAJOの方が相対的に大きくなっており、また、その継続時間に顕著な差はない。

したがって、一部は野島断層の寄与があるかもしれないが、神戸側の須磨区あたりから北東方向に激しく破壊が広がる過程で放出された波がかなりを占めているはずである。著者らが発見した須磨浦公園入り口の南西のわずかに右横ずれを伴う国道の亀裂は、敦盛塚の前を横切る。亀裂の1~2 m ほど北西に位置したこの塚では、15 cm ほどの突起によって下部の石組みの穴に差し込まれていた塚の頭部が、2 m 以上も南西方向に飛んでおり、地震動が1 G 以上の加速度であったことを推定させる(写真12)。付近の被害をみると、このような大きな加速度がかかったと思われるのは亀裂に沿ってわずか数 m の範囲である。断層変位量はわずか数 cm ではあるが、これが神戸側の伏在断層の一部が地表に現われたものであると考える。神戸側の被害の大きさに比較して、顕著な地震断層が地表で発見されていないのは、神戸側では地震断層はこのような短い crack の集合として動き、大きな高周波の波が放出されたためと考えられる。淡路島では地震断層のセグメントは概し

て左雁行状配列をしているが、神戸側では右雁行状配列をしているはずで、そこでは全体として compression のかかった右横ずれの破壊が進行したと推定している。

このように近地震記録と地震断層の変位量や形態とが密接に関連づけられるが、より定量的な議論も可能である。特に、神戸側の地震断層がより詳しく求めることができれば、高周波地震波の発生という重要な問題にも解決の糸口となるはずである。

V. 結 論

今回の兵庫県南部地震によって淡路島に出現した地震断層の特徴は、次のようにまとめることができる。

1) 地震は、淡路島北部の活断層である野島断層の再活動によって発生した。そのため、地震断層は既存の活断層トレースに極めてよく一致している。

2) 断層の変位様式は、右横ずれが卓越し、上下変位のセンスは既存の活断層のセンスと一致している。

3) 各セグメントの断層変位の量は中央部に大きく末端部で小さくなる。

4) 地震断層の変位量と破壊の拡大過程から推定された震源過程は、地震波形より推定された震源時間関数をよく説明する。

5) 神戸側の地震断層は、野島断層沿いの地震断層とは異なり、伏在断層が地表部でミ状に配列した小 crack の集合として現われ、これに沿って高周波の強い波が放出されたため、構造物に大きな被害が出た可能性が大きい。

VI. おわりに

今回の兵庫県南部地震に伴って出現した地震断層は、断層破壊プロセスや活断層の形態的研究に貴重な資料を提供しており、佃 (1990) が指摘す

るように、これからの活断層研究のために得難い機会を我々に与えてくれており、さらに詳しい調査が望まれる。

謝 辞

余震分布図は、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所、高知大学理工学部の地震観測網のデータを東京大学地震研究所において自動処理して得られた震源であり、データ提供については各機関に感謝する。広帯域地震記録は、東京大学地震研究所の Gopher システムより得られたもので、記録の処理については鶴我佳代子氏の協力による。本研究の調査費の一部は、第7次地震予知研究事業費の一部および平成7年度科学研究費総合研究 (A) 「平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究」 (代表者京都大学防災研究所 藤原悌三の一部を使用した。また、ヘリコプターによる写真撮影は、(株) エースヘリコプターのご協力を得た。

文 献

- 藤田和夫 (1974): 第四紀地殻変動図「近畿」(50万分の1), 構造図3. 地質調査所.
- 池辺展生編 (1965): 兵庫県地質鉱産図 (17万分の1), 同説明書. 兵庫県 (地質図作委員会).
- 活断層研究会編 (1991): 新編 日本の活断層——分布図と資料——. 東京大学出版会, 437p.
- King, G. C. P. (1986): Speculations on the geometry of the initiation and termination process of earthquake rupture and its relation to morphology and geological structure. *PAGEOPH*, 124, 567-585.
- Matsumoto, N., Yomogida, K. and Honda, S. A. (1992): Fractal analysis of fault systems in Japan and the Philippines. *Geophys. Res. Lett.*, 19, 357-360.
- 水野清秀・服部 仁・寒川 旭・高橋 浩 (1990): 明石地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 90p.
- 中田 高・堤 浩之・Punongbayan, S. P., Rimando, R. E., Daligdig, J., Daag, A. (1990): 1990年フィリピン地震の地震断層. 地学雑誌, 99, 515-532.
- Sibson, R. H. (1986): Rupture interaction with fault jogs. *A. G. U. Monograph*, 37 (Maurice Ewing Ser., 6), 157-167.
- 佃 栄吉 (1990): 地震断層の形態と断層破壊過程. 構造地質, 35, 103-112.
- (1995年2月4日受付, 1995年2月4日受理)