

□平成16年(2004年)新潟県中越地震について

溝 上 恵

1. 概 要

2004年10月23日17時56分、新潟県中越地方の深さ13kmでM6.8の地震が発生し、新潟県の川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強、長岡市、十日町市、栃尾市、越路町、三島町、堀の内町、広神村、守門村、入広瀬村、川西町、中里村、刈羽村で震度6弱を観測したほか、東北地方から近畿地方にかけて震度1から5強を観測した。震度7が観測されたのは、気象庁が1949年に震度7の震度階級を設定してから2度目である(1度目は現地調査で判明した平成7年(1995年)兵庫県南部地震である。計測震度計で震度7が観測されたのは、今回が初めてである)。また同日18時11分にM6.0の地震が発生し、新潟県小千谷市で震度6強を、18時34分にM6.5の地震(最大余震)が発生し、新潟県の十日町、川口市、小国町で震度6強を観測した。この地震活動は、10月23日17時56分に発生した地震(M6.8)を本震とする本震一余震型である。本震発生直後1時間以内に震度6強の余震が2回発生するなど活発な余震活動があった(図1)。これらの震源は、北北東一南南西方向に



図1-1 今回の震源域の周辺図

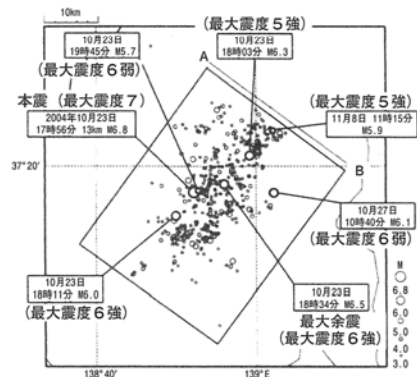


図1-2 震央分布図(領域a内拡大図)

2004年10月23日15時～11月10日24時の期間で、M3.0以上、深さ25km以浅の地震を表示してある。
(気象庁資料)

長さ約30kmの範囲で分布している。その後、余震活動は減衰傾向にあるが、10月23日19時45分にM5.7(最大震度6弱)、10月27日にM6.1(最大震度6弱)、11月8日にM5.9(最大震度5強)の地震が発生するなど、大きな余震が引き続いた。

この地震により、死者40人、負傷者2,867人、住家全壊2,028棟、半壊4,430棟、建物火災9棟などの被害が出た(表1)。

表1 新潟県中越地震による被害状況

被害状況 (11月12日午前9時現在の記録)			
人的被害 死者40人 重軽傷者2,761人			
住宅被害 全壊817棟、半壊・一部損壊17,992棟			
その他被害 道路5,927か所、崖崩れなど442か所			
震度5弱以上を観測した地震			
地震発生日時	マグニチュード	最大震度	
10月23日 17時56分	6.8	7	
17時59分	5.3	5強	
18時03分	6.3	5強	
18時07分	5.7	5強	
18時11分	6.0	6強	
18時34分	6.5	6強	
18時36分	5.1	5弱	
18時57分	5.3	5強	
19時36分	5.3	5弱	
19時45分	5.7	6弱	
19時48分	4.4	5弱	
10月24日 14時21分	5.0	5強	
10月25日 0時28分	5.3	5弱	
6時4分	5.8	5強	
10月27日 10時40分	6.1	6弱	
11月4日 8時57分	5.2	5強	
11月8日 11時15分	5.9	5強	
11月10日 3時43分	5.3	5弱	

(新潟県中越地震対策本部による)

余震活動について、精度を高めた震源決定を行ったところ主な3つの地震活動領域が区別される。すなわち、

- ① 本震を含む、高角北西下がりの分布
- ② 最大余震を含む、①と平行な分布
- ③ 余震域の東端に位置し、10月27日のM6.1を含む①、②とほぼ直交する分布

発震機構は、西北西一東南東方向に圧力軸をもつ逆断層型で、この付近でよく見られる型である。また本震、及び最大余震の断層面の傾斜角は、①、②に対応する断層面の傾斜角とほぼ一致する。新潟平野南部では、地殻に強い圧縮力が何百万年、何十年の間作用し続けて褶曲構造という波状に変形した地層が生まれる。その姿は海岸線に平行な5本の丘陵と谷からなる特徴的な褶曲地形を形成した。今回の一連の地震活動は、新潟平野南部の活褶曲地域の東山丘陵(背斜構造の丘陵地)の直下で、複数の伏在断層が連鎖的にずれ動き発生したものである。活褶曲の背斜構造直下の伏在断層がずれ動いて発生する地震(褶曲地震)の特徴は、大きく分けて4つある。それは、地震の際にすべった断層が地表に現れないこと、数百万年以内にできた(新しい)背斜構造下でおきること、地震発生の度毎に、褶曲の背斜軸に沿って顕著な地殻の隆起が見られることである今回の地震ではこの背斜の隆起は約75cmに達した。また余震活動は、本震の断層上で発生するだけでなく、その断層の上下および縁辺に広がって発生するという特徴がある。この点から、兵庫県南部地震と今回の地震の余震分布を比較すると、兵庫県南部地震の余震が本震の断層に沿ってほぼ

余震活動の回数比較 (マグニチュード4.0以上)

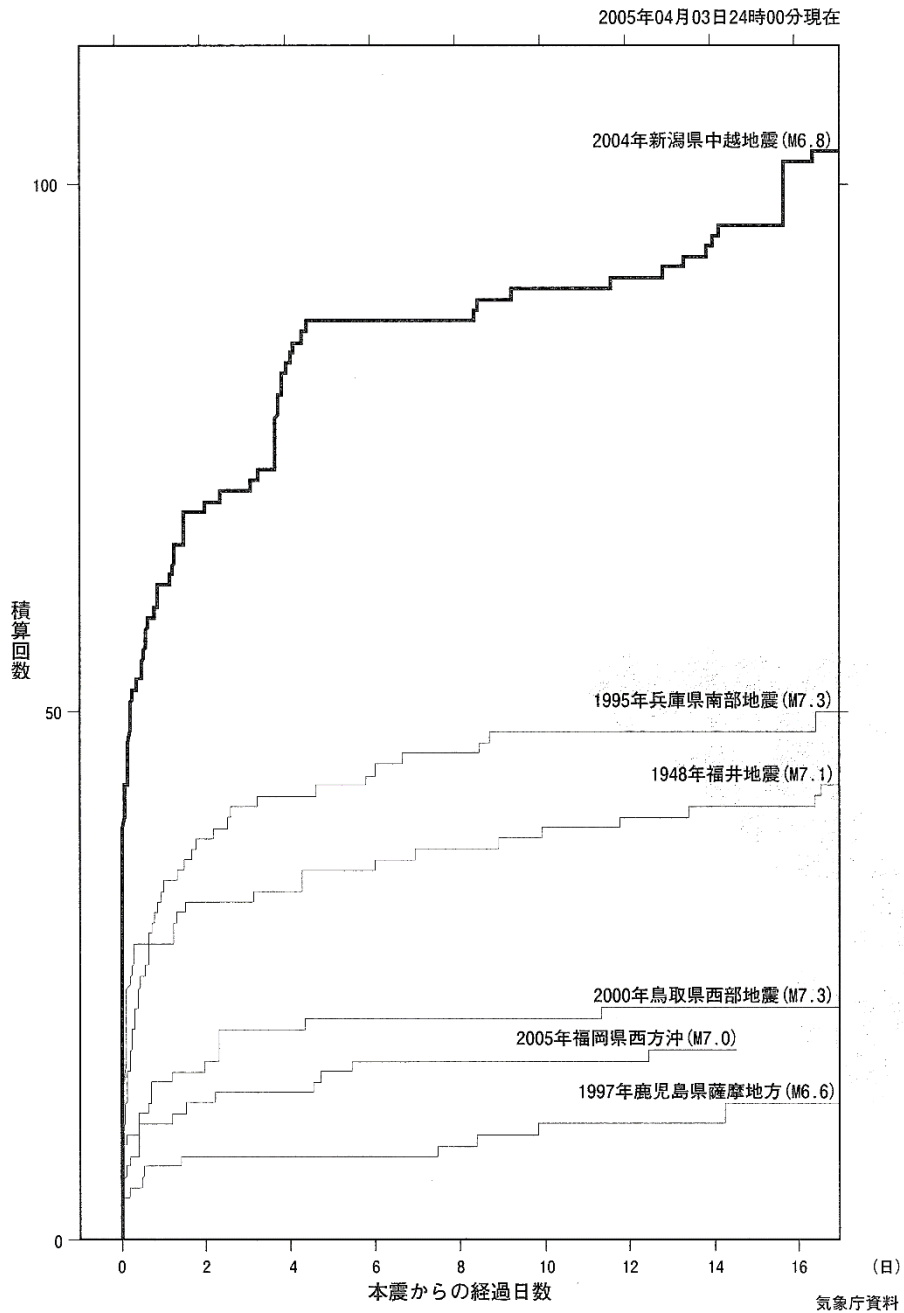


図2 新潟県中越地震と最近の主な地震の余震回数の比較

出典：図1、2とも気象庁資料

直線的に分布しているのに対して、今回の地震の余震は明らかに幅のある広がりをもって分布している。余震の発生については、兵庫県南部地震に比べて今回の地震は圧倒的に余震発生の累積頻度が高いという違いがある。

今回の地震は震源が極めて浅く、しかも震源域が軟弱地盤に覆われた丘陵・山間地であったため、強い揺れにより地盤崩壊や地滑りが各地で発生した。さらに信濃川の支流が塞ぎ止められ、引き続き降雨により集落が水没するなど大きな災害につながった。

2. 活褶曲と伏在断層

今回の地震の震源域である山古志村(旧)、川口町、小千谷市、長岡市などを含む日本海

沿岸に沿う幅約 35km、長さ約 70km の地域の地形は著しい特徴を持っている。

すなわち、この地域を人口衛星から撮影した写真を見ると、山と谷が平行して並ぶ5列の筋目がくっきりと見られる。その有様はあたかも棘皮動物の「なまこ」が5匹並んで横たわっているようである(図3)。

これは地層が何万年、何十万年もの長い期間にわたって強い力で圧縮されて波状に変形した結果出来上がった地形である。このような波状に変形した地形の構造を褶曲構造とよぶ(図4)。今回の地震の震源域は、全国で最も著しい褶曲構造が発達している地域であり、しかも1960年代以降の約30年間にわたる精密水準測量の繰り返しから、この褶曲構造は現在もきわめて早い速度(1kmの水平距離に対して年間約2.5mmの隆起)で成長しつつあるという驚くべき事実

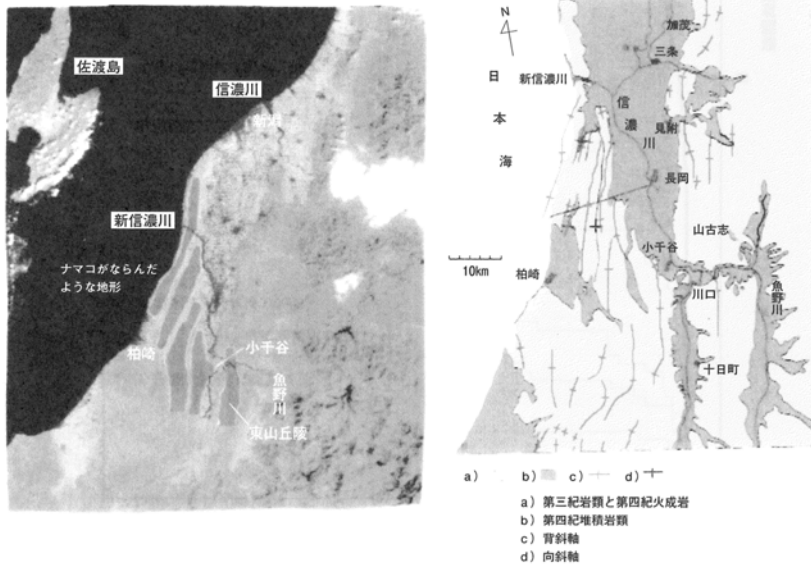


図3 中越地方の活褶曲の地形 (左図: 活褶曲地形の衛星写真、右図: 活褶曲の背斜軸+|+、向斜軸-|-)

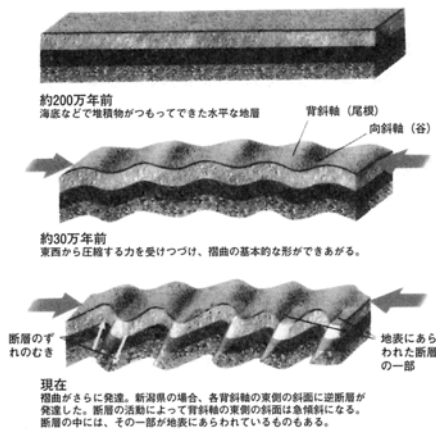


図4 活褶曲と断層ができるまで

出典：雑誌「ニュートン」2005年1月号

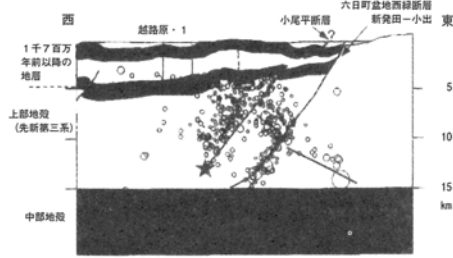
が観測されている。この速度は、日本列島各地の平均的は地殻変動速度の約20倍である。

この現在も生きて成長しつつある褶曲(活褶曲)は、日本列島が太平洋側と日本海側の両側からプレート運動による圧縮力を受けて生まれたものである。この地域で圧縮力が褶曲構造を生んだ理由は、地層や岩盤(以下岩盤という)の年代が若く、他の地域の岩盤に比べて変形しやすいという性質を持っているからである。この褶曲した地形や岩盤は、その地域の人々にとっては、丘陵の峰や斜面とか川岸の道路の切り通しの岩肌といった日頃から見慣れた景観の一つに過ぎない。しかし、その景観の背後には地震発生につながる地下に隠れた断層やその断層がずれ動いて一旦地震が発生すると褶曲地形の斜面の大規模な地滑りなどを引き起こす「自然の脅威」が潜んでいることを忘れてはならない。

岩盤が褶曲しそれが進行するとどうなるだろうか。褶曲という穏やかで連続的な岩盤の変形が何万年、何十万年と進行しそれ

が累積すると、大きく傾斜、折れ曲った部分が岩盤の中に生まれ、その部分に歪が集中する。その結果、ついに岩盤は大きな歪に耐え切れなくなり断層によって断ち切られる。岩盤がいったん断層で断ち切られると、そこには一層歪が集中しやすくなり繰り返し断層がずれ動いて度々地震が発生するようになる。今回の一連の地震活動は、このようにして生まれた褶曲構造の直下に伏在している断層が急激にずれ動いて発生した。地下の岩盤が大きく変形した部分は、複数の断層によって岩盤が複雑に断ち切られているために、それぞれの断層がドミノ倒しのように次々にずれ動き、大きな余震が相次いで発生し強烈な揺れが度重なった。

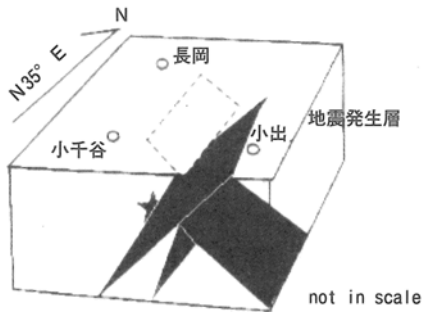
今回の地震の本震(M6.8)は、東山丘陵の東麓の付け根に沿って約53度で西へ傾き下がる断層(長さ約21km、幅約10km、上端の深さ約2.8km)が約1.8mずれ動いて発生した。主な余震のうちの3つは、この本震の断層に平行して寄り添うように配列している。ただし10月27日M6.1(最大震度6弱)の余震の断層は、本震の断層から約10km東側に離れた位置から本震の断層面に直交する形のものであった(図5)。本震発生の直後には、大きな余震が引き続いたため、震源域一帯の歪の変化が周辺部にまで波及した。本震直後の余震活動がもう少し低調だったならば、余震活動の中心からやや離れた断層を巻き込むことはなく、10月27日の大きな余震は発生しなかったであろう。今回の新潟県中越地震では、複雑骨折を起こしたように隣り合った断層が次々にずれ動き、その度毎に地盤災害が増え続けた。なお今回の地震の震源のごく近傍で1933年小千谷



星印は本震、線は余震も含めた推定震源断層、○は余震分布、実線は、今回活動しなかった断層、ボーリング資料は「長岡」図幅（地質調査所、1992）、日本の石油・天然ガス資源（1992）による。地下構造の実態は、今後の探査によって解明していく予定。

図5 震源域の地殻構造推定断面図

出典：地震研究所資料



空間配置の大まかな概念を示したもので、破壊領域も含め正確な表現ではない。

図6 震源断層の空間配置概念図

出典：地震研究所資料に加筆修正

地震(M6.1)が発生し、北側では1927年関原地震(M5.2)、1961年長岡地震(M5.2)、1995年新潟県北部地震(M6.0)などがそれぞれが発生した。1995年新潟県北部地震では負傷者67名、家屋の全壊190棟という被害が出た。1978年から1991年の13年間にわたりほぼ2年間隔で精密水準測量によって東山背斜の地殻変動を観測したところ、約2cm隆起したことが分かった。また、1828年12

月18日には今回の地震の北方約40kmの地点で三条地震(M6.9)という今回の地震とほぼ同規模の地震が発生している。この三条地震では信濃川流域の平地が激震地域となった。

三条地震を引き起こした褶曲構造は、信濃川の厚い堆積層の下に隠れており、震源地の地形は平地となっている。この地震では三条、見付、今町、与板などで被害が多く、家屋の全壊9,808棟、焼失1,204棟、死者1,443人とも推定されているが、実際にはもっと大きな被害だったであろうといわれる。地割れから水や砂が噴出し、流砂現象がみられた。(図7)に1500年以降に中越地方およびその周辺で発生した主な被害地震の分布を示す。

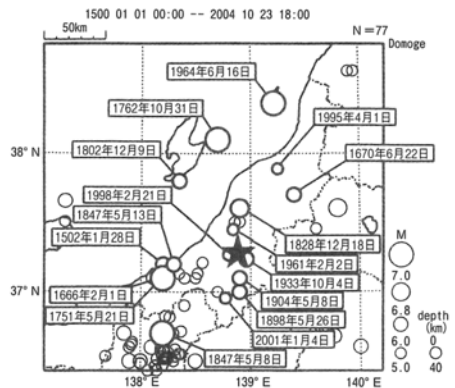


図7 主な被害地震(1500年～)

3. 伏在断層と地震

今回の地震の震源域となった東山丘陵は、すでに述べた褶曲の5つの山・谷の内、最も東側の山の部分にあたる。褶曲構造については、山の部分を背斜といい、谷の部分を向斜という(図3、右図)。東山丘陵は東山背斜とも呼ばれ、東山背斜の西側には小千谷向斜がありそこは信濃川の流域にあたる。信濃川の流域の西側は、信濃川が10万年前に生み出した河岸段丘である越路原や2万年前に生み出した河岸段丘である小栗田原の穏やかな畑地の斜面が広がりそのさらに西は時水背斜の丘陵へとつながる。これらの越路原や小栗田原という河岸段丘が穏やかに傾斜しているのは、生まれた時には水平だった河岸段丘が褶曲運動、さらには断層運動によって長い時間の間に傾き動いたことを見事に物語っている。時水背斜の丘陵の西麓を下ると渋海川の向斜となる。大きな地震を引き起こす可能性のある断層は、東山背斜の場合と同じように時水背斜の丘陵の東麓の付け根に沿って西へ傾き下がっ

ており、その断層の一部分はかすかに地表に現れている。この断層は片貝断層という。この片貝断層とその延長上でこれまで大小の地震が発生している(図8)。

片貝断層の北方延長にある長岡市付近で発生した地震には、1927年関原地震(M5.2)と1961年長岡地震(M5.2)がある。

いずれも背斜の隆起と向斜の沈降とい地殻の上下変動が観測された。すなわち、関原地震および長岡地震についての上下変動は水準測量によって検出されており、それぞれ約2.5cmおよび約7.0cmに達した。これらの二地震は共に典型的な震源の浅い局地地震であり、関原地震では田面で石油ガス噴出口が生じ、長岡地震では被害が直径2kmの範囲に集中し死者5人、住家全壊220棟、半壊465棟という被害を生じた。片貝断層の中心部の小国町周辺は小規模の群発地震が多発する地域である。地震研究所は片貝断層を東西に横切る4本の水準路線を設置して1968年から1991年の23年間にわたりほぼ2年毎に時水背斜の地殻変動を観

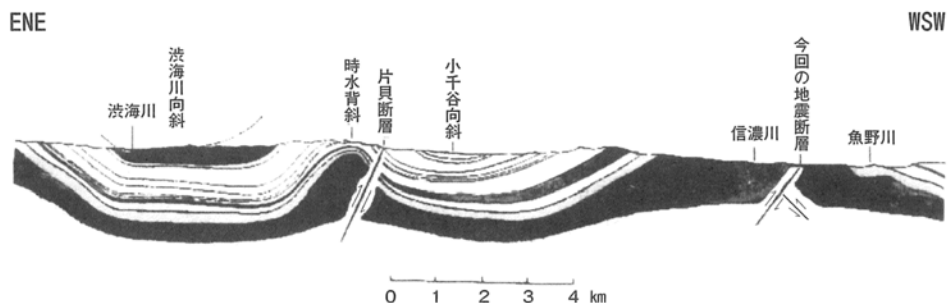


図8 小千谷地域の活褶曲の断面図

測した結果、約 1km の水平距離に対して年間約 2,5mm の隆起が観測された。もし、この隆起が片貝断層の歪の蓄積を示すものと考えれば、1828 年三条地震や今回の地震と同じタイプの地震が何時か近い将来に再び中越地方で発生する可能性があるものと考えて、日ごろから地震に備える心がけが必要となる。

小千谷市の西南西約 15km、片貝断層の延長上にある高柳町では、1990 年 12 月 7 日に M5.4 と M5.3 の双子地震が発生し、地滑りなどによって 8 億円を超える被害がでた。

その後も 1995 年頃まで小規模な地震が多発した。その後一旦活動が衰えたが、2000 年に入り再び活発化し、2001 年には震度 5 弱の地震が起きた。このような高柳町の地震に見られる地震活動の推移は、活摺曲地域の地震の性質がいかに複雑であるかを物語っている。時水背斜、片貝断層の西にも日本海沿岸へ向かってさらに 3 列の摺曲の山谷が横たわっている。この活摺曲地域の一帯は、わが国有数の天然ガス、石油の産出地であり、地下資源開発の視点からボーリングによる地下構造の詳しい探査が行われている。こうした地下探査によるデータは、地震防災の面から見てきわめて貴重で有用な情報を含んでいる。一般に、地下探査には莫大な経費がかかることを考えると、様々な目的での地下探査のデータが地震研究や地震防災にも広く活用しうる仕組みを作る必要がある。

4. 新潟県中越地方は地震空白域か

新潟県中越地方では、今回の地震の外に

も M5 や M6 クラスの地震が多く発生している。これらの地震はすべて次のような共通の特徴をもっている。すなわち、西北西一東南東方向の圧縮力による逆断層型のメカニズムの地震で、震源の深さは 10km より浅く、断層の走向はこの地域の摺曲構造の走向と平行している。この事実は、新潟県中越地方とその一帯の地震は、活摺曲の直下に伏在する断層がずれ動いて発生する地震だということを示している。

政府の地震調査委員会などでは、佐渡島北方沖と同様に新潟平野南部が地震空白域であり、大規模地震の発生の可能性について確率予測を試みている。しかし、その対象となっている地震は M7.5～M7.8 といった大規模地震である。M5、M6 クラスの浅い地震については、新潟平野南部は決して地震空白域ではなく、むしろ地震の頻発地域といった方が適当である。これらの内陸部直下の M5～6 クラスの地震の発生頻度は、M7.5～M7.8 の地震に比べはるかに高い。全国有数の軟弱地盤地域である中越地方は、中山間地を震源とする浅い地震が発生すると、地滑りや中小河川の閉塞という深刻な被害を生む。平地部を震源とする地震の場合であっても、人口密度や土地利用の状況によっては大きな被害につながる。地震に備えるには、発生の蓋然性が高い地震に対して先ず備えるべきであり、それでこそ日常的な防災意識と緊張感を維持することが可能となる。

活摺曲の丘陵地形は、その地域の住む人々にとって日頃から見慣れた景観の一つに過ぎない。しかし、それが恐るべき地震と関連をもって生み出された地形であること

を知っておくべきである。阪神淡路大震災を生んだ兵庫県南部地震について見ると、神戸市民が日頃から見慣れた六甲山は、地震による地殻の隆起の累積によって生まれたものである。さらにいえば、大阪湾の海底から見上げた六甲山の姿は、3,000mを超える急峻な崖であり、その崖は約2000年に一度の割合で繰り返す大地震による地殻の隆起が100万年、200万年という長い期間にわたり積み重なって生み出されたのである。神戸市はその巨大な崖の中腹に発展した大都市であり、地震の危険をはらんでいることを、一般市民は果たしてどの程度認識し大地震に備えていたのであろうか。兵庫県南部地震は約2千年に一度繰り返す大地震である。そのため短めに見ても今後の500年間ほどは直下の大地震は発生しないと考えて差し支えない。地震への備えは「先手必勝」というぐらいの覚悟で立ち向かわないと多くの人命が失われる危険性が高く、「地震が起きてしまったらではもう遅い」と言う側面が多々ある。

5. おわりに地震防災対策の盲点

一 中山間地域の直下地震一

2004年10月23日新潟県中越地震(M6.8)。

この地震の特徴は、強い揺れを伴った余震が立て続けに発生した。さらに震源域とその周辺は軟弱地盤で覆われた全国有数の地滑り地域であるという悪条件が重なり大きな災害を生んだ。今回の新潟県中越地震は新潟平野南部の活摺曲地域の東山丘陵(背斜構造の丘陵地)の直下で、複数の伏在断層が連鎖的にずれ動き発生したものであ

る。すでに述べたようにこのタイプの地震(摺曲地震)の特徴は、大きく分けて4つある。それは地震の際にすべった断層が地表には現れず、「隠れた断層による大地震」となること、数百万年以内にできた(新しい)背斜構造下でおきること、地震発生の度毎に、摺曲の背斜軸に沿って顕著な地殻の隆起が見られることである。また、複数の断層が連鎖的にずれ動いて相対的に規模の大きい余震が立て続けに発生する。この摺曲地震を引き起こす断層は、新潟平野南部にまだ多く潜んでおり、さらに新潟県から青森県にかけて日本海に注ぐ主要河川によって形成された沖積平野の直下にも潜んでいる。「隠れた断層による大地震」には、まだまだ政府による調査の目が及んでいないため、新潟県中越地震は、この死角ないしは盲点を突かれた形となった。

阪神淡路大震災は、大都市圏が地震に対してきわめて脆弱であることを露呈した。

その結果、わが国の地震防災対策は、主として大都市圏を対象として進められてきた。しかし、地震大国であるわが国では、いつでもどこで大地震が発生しても不思議ではない。国土の約70%が山間地であり、そこには山と傾斜地に囲まれたきわめて多くの内陸盆地と谷が分布している。こうした内陸部には大都市もあるが、多くの中小都市、農林産業や観光の中心地がある。とくに内陸の中山間地は都市部との交流が密接であり、多くの人々がそれぞれの地域の特性に応じた生産活動を行っている。こうした内陸部での直下地震による災害は、海に面して発展した地域での地震災害の様相と大きく異なる場合が多い。

今回の新潟県中越地震による被害は、中山間部特有の被害といえる大規模な地盤災害が起きた。家屋そのものは地震の強いゆれに耐えた場合でも、地盤の崩壊によって致命的な損害を蒙ったケースがきわめて多い。山古志村は、土砂崩壊によって道路が寸断され孤立化した上に、崩壊した土砂が川を塞ぎ止めダムとなり、その上流部は水位の上昇とともに集落全体が水没するという惨状を呈した。この水没は、世代をこえて慈しみ育て上げてきた里山の環境・地形そのものを根底から破壊した。

今回の地震では、信濃川の支流が土砂崩壊で堰きとめられた。1847年善光寺地震(M7.4)では、信濃川の上流部の犀川が塞ぎ止められ、その土石の堤の高さは50mとも90mともいわれている。地震後20日経てこの堤が破れ、下流の善光寺平の大半が冠水した。洪水の高さは善光寺平の入り口の地点で約20mもあったという。この洪水は信濃川を流れ下り日本海に出たが、信濃川河口で3mの水位に達したという。最近では、

1984年長野県西部地震(M6.8)によって、御嶽山が山頂部から崩壊し、麓の集落では道路が寸断されて孤立化し、さらに大滝村は土石流に飲み込まれた。このような地震災害の事例は歴史を遡ると決して珍しいことではないことが分かる。

最近の半世紀、わが国は国土開発の名のもとに経済優先で山林を破壊し、河川の流れを人工的に直線化し、自然・環境破壊の限りをつくしてきた。今、日本列島は本格的な地震活動期を迎えようという時期にさしかかっていることは間違いない。大規模な開発工事により大きく傷つけられた国土、とりわけ中山間地とその谷合いの河川、そしてその下流域一帯は地震に対して脆弱性が増大している。地震防災の対策を、大都市に対してだけでなく、内陸部とくに中山間地に対しても自然環境の回復を視野に入れつつ十分に行っていくことが急がれる。