

基調講演

新潟県中越地震のメカニズムを探る - 中山間地で何が起きたか -

東京大学 名誉教授 溝上 恵



1) はじめに

2004年10月23日17時56分、新潟県中越地方の山古志、川口地区のほぼ直下を震源として、マグニチュード(M)6.8の地震が発生した。気象庁をはじめ、関連各機関による地震、地殻変動観測データの解析から、この地震の本震を引き起こした断層の走向はほぼ日本海の海岸線に平行な北北東-南南西で、断層面は長さ約20km、幅約10km、西に向かって約53度で傾き下がっていることが分かった。この断層面を挟んで西側の岩盤(上盤側)が東側の岩盤(下盤側)に対して約1.8m急激にずり上がるという断層運動により、この地震は引き起こされた。この断層のずれの上端は、地表面から約2.8kmとごく浅所に達したが地表にまでは達しなかった。この地震(M6.8)のエネルギーは兵庫県南部地震(M7.3)の6~7分の1程度である。しかし、この地震を引き起こした断層が極めて浅い場所にあり、しかも震源域の表層地盤が極めて軟弱であったため、最大震度7という強烈な揺れを生じた。信濃川支流の中小河川流域である中山間地は、全国有数の地滑り地域として知られている。さらに、泥岩や砂岩からなる軟弱地盤が、地震発生前からの豪雨により多量の水を含み、一段と崩壊しやすい状況にあった。

この地域を直撃した地盤の強烈な揺れは、大規模な斜面崩壊、地滑り、土石流、山崩れなどを引き起こし、深刻な地盤・土砂災害につながった。新潟県中越地震の顕著な特徴の一つは、極めて活発な余震活動を伴ったことである。すなわち、本震の規模M6.8の余震としては、M6.0~6.5といった大きな規模の余震が相次いで発生し、これらの余震により最大震度6弱~6強といった強い揺れが度重なった。この活発な余震活動は、本震で崩れかかった建物や亀裂の入った地盤に幾度も追い討ちをかけた。信濃川支流の谷間の急傾斜地では、大規模な地滑りにより河川の流れの閉塞が生じた。そのため上流域では、地震直前の10月20日に約100mmの降雨とともに刻々と河川の水位が高まり、集落の水没が生じ住民全員の避難という深刻な事態を生んだ。ここでは、新潟県中越地震とそれに伴った活発な余震活動の発生の背景を中心に、この地震のメカニズムについて考察する。

2) 概要

新潟県中越地震(M6.8)は震源の深さが約13kmというきわめて浅い場所で発生した。この地震により、新潟県川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強、長岡市、十日町、栃尾市、越路町、三島町、堀乃内町、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。川口町、小千谷市、山古志村、十日町、栃尾市、入広瀬村で1000galを超える最大合成加速度が観測され、川口町では2515galに達した。

また本震発生同日の18時11分にM6.0の余震が発生し、小千谷市で震度6強を、18時34分にM6.5の余震（最大余震）が発生し、十日町、川口市、小国町で震度6強を観測した。このように本震発生直後1時間以内に震度6強の余震が2回発生し、その後も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）の余震が発生するなど、きわめて活発な余震活動が続いたが、地震活動全体としては、本震 余震型で推移した。これらの余震の震央分布は、北北東 南南西方向に長軸をもち、長さ約30kmにわたり分布している。本震および余震の分布図を図1-1および図1-2に示す。



図1-1 本震および余震(M3.0以上)の震央分布

期間:2004年10月23日15時~11月11日09時(気象庁資料)

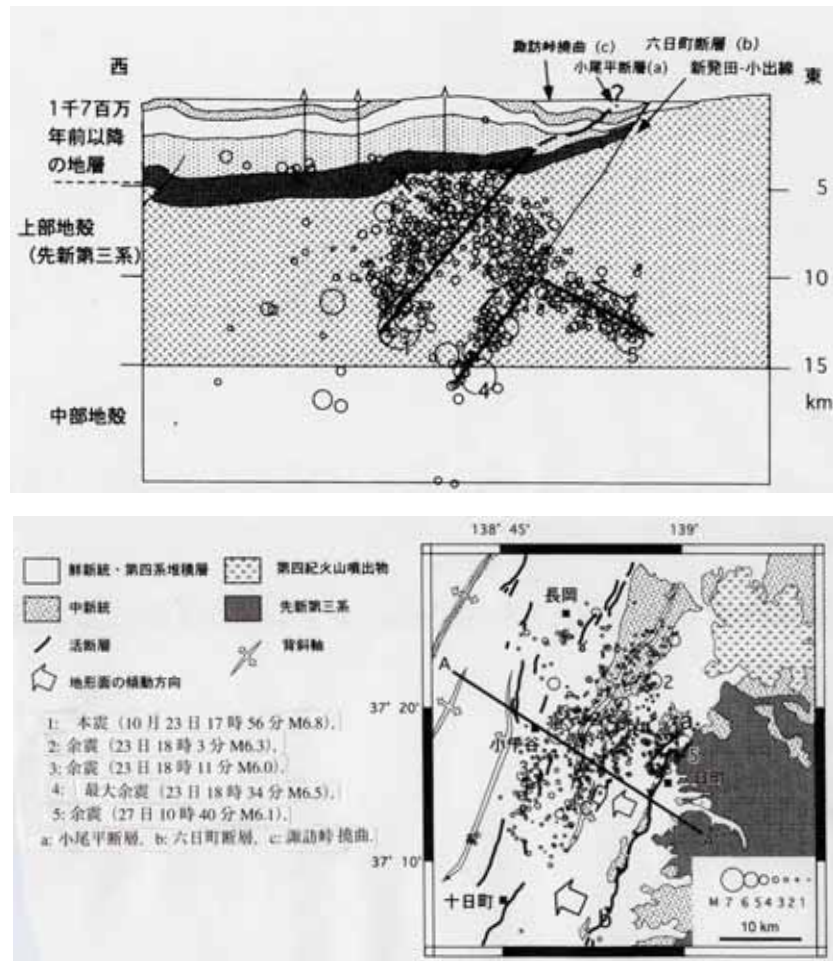


図 1-2 本震および余震の震源(丸印)分布(東西断面)と地殻構造概念図

太い実線は推定震源断層。印はボーリング位置の断面への投影

大きな丸印の番号(1~5)は、下図の本震および主な余震の番号に対応(地震研究所資料)

新潟県中越地震と最近の主な地震の余震回数の比較を図 2 に示す。

新潟県中越地震により、死者 40 人、負傷者 4661 人、住家全壊 2802 棟、半壊 11971 棟、建物火災 9 棟などの被害が出た。表 1 に震度 5 弱以上を観測した地震を示す。

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、

本震を含む高角北西下がりの分布、

最大余震を含む と平行な分布、

余震域の東端に位置し、10月27日の M6.1 を含む、 とほぼ直交する分布の 3 活動領域である。

発震機構は、西北西-東南東方向に圧縮力をもつ逆断層型であり、中越地域一帯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、 に対応する断層面の傾斜角とほぼ一致する(図 1)。また、地震観測および GPS による地殻変動から求められた本震および主な余震の断層モデルを図 3 に示す。

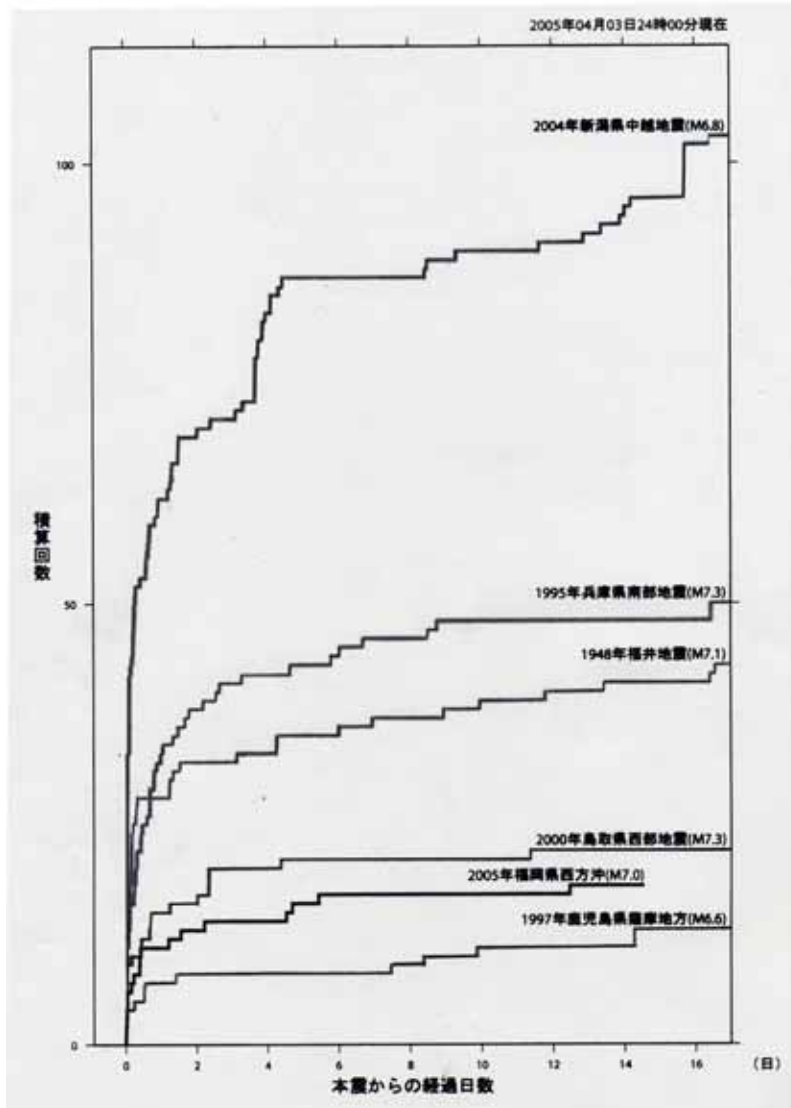


図2 余震活動の回数比較(マグニチュード4.0以上) (気象庁資料)

表1 震度5弱以上を観測した地震(気象庁資料)

(10月23日17時56分~11月8日16時、暫定値)

震源時		北緯	東経	マグニチュード	深さ (km)	最大震度
(年月日)	(時分)					
2004/10/23	17時56分	37度17.4分	138度52.2分	6.8	13	7
2004/10/23	17時59分	37度18.6分	138度51.5分	5.3	16	5強
2004/10/23	18時03分	37度21.1分	138度59.2分	6.3	9	5強
2004/10/23	18時07分	37度20.7分	138度52.1分	5.7	15	5強
2004/10/23	18時11分	37度15.0分	138度50.0分	6.0	12	6強
2004/10/23	18時34分	37度18.2分	138度56.0分	6.5	14	6強
2004/10/23	18時36分	37度15.2分	138度56.7分	5.1	7	5弱
2004/10/23	18時57分	37度12.2分	138度52.0分	5.3	8	5強
2004/10/23	19時36分	37度12.8分	138度49.7分	5.3	11	5弱
2004/10/23	19時45分	37度17.6分	138度52.8分	5.7	12	6弱
2004/10/23	19時48分	37度17.7分	138度50.4分	4.4	14	5弱
2004/10/24	14時21分	37度14.5分	138度49.8分	5.0	11	5強
2004/10/25	0時28分	37度12.0分	138度52.4分	5.3	10	5弱
2004/10/25	6時04分	37度19.6分	138度57.0分	5.8	15	5強
2004/10/27	10時40分	37度17.3分	139度02.2分	6.1	12	6弱
2004/11/4	8時57分	37度25.6分	138度55.1分	5.2	18	5強
2004/11/8	11時15分	37度23.5分	139度02.1分	5.9	ごく深い	5強

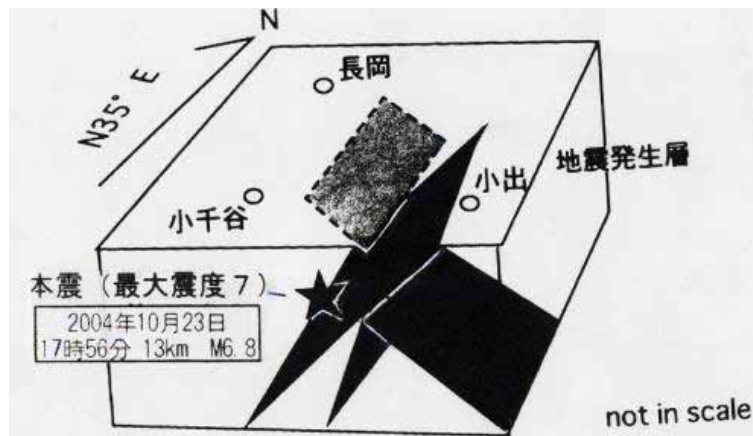


図3 本震および主な余震の断層の空間配置概念図

空間配置のたまかな概念を示したもの

星印は本心の震源位置を示す (地震研究所資料)

3) 活褶曲と伏在断層

今回の地震の震源域である山古志村、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35 km、長さ約70 kmの地形は著しい特徴を持つ。

すなわち、この地域を人工衛星から撮影した映像を見ると、5本の山筋と谷筋が海岸線に平行して並んでいることが分かる(図4-1, -2)。

この特徴的な地形は、比較的柔らかな地層に強い圧縮力が数百万年にわたり作用し続けた結果、地層が大きく波状に褶曲して生まれたものである。この褶曲構造は現在も成長し

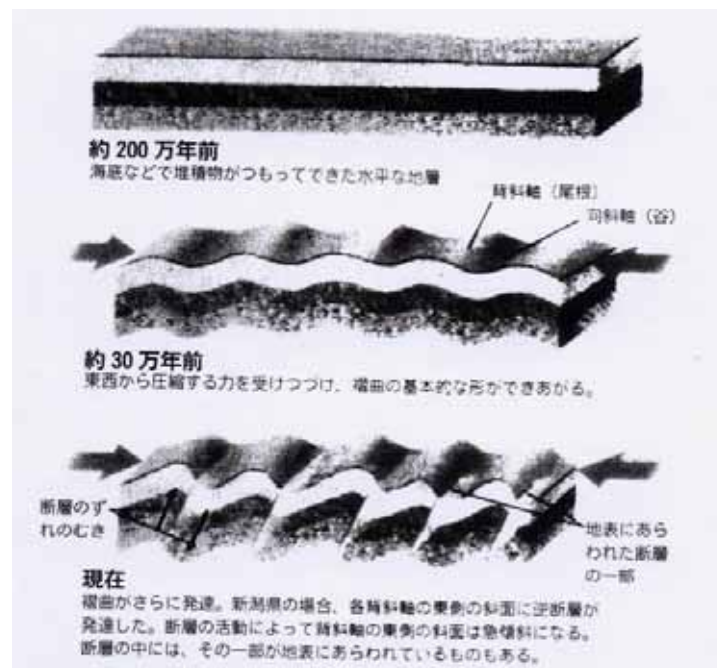


図4-1 活褶曲と断層ができるまで (雑誌ニュートン 2004年1月号)

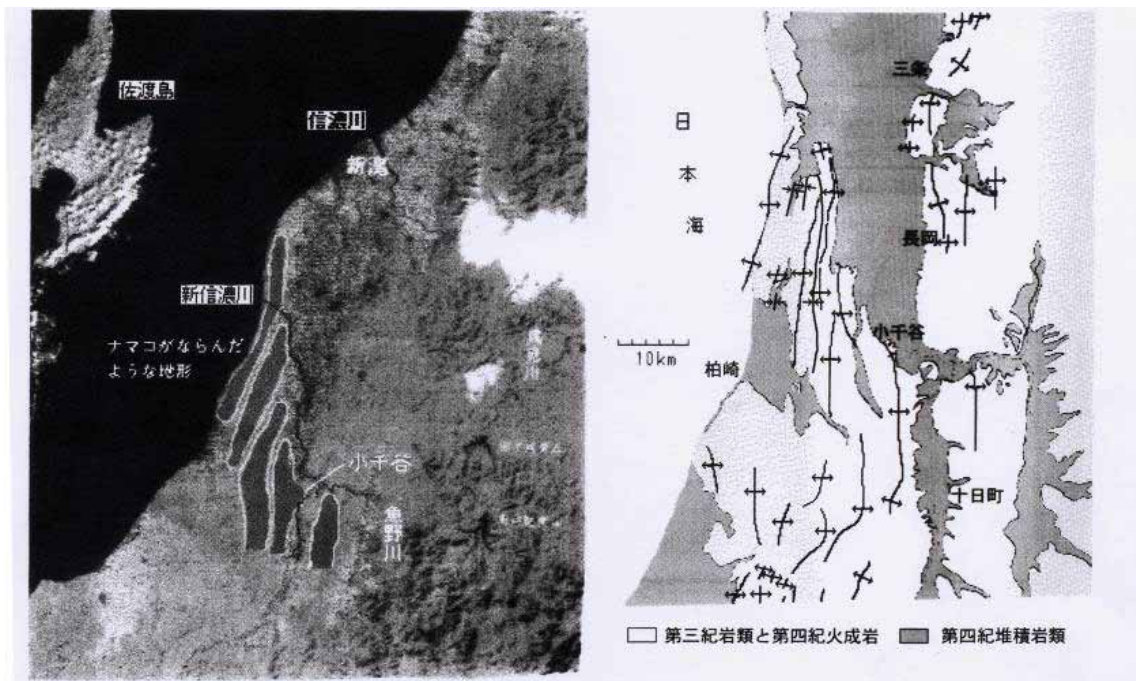


図 4-2 中越地方の褶曲の地形(溝上等、地震研究所彙報、Vol.55, 1980)

(左図:活褶曲地形の衛星写真、右図:活褶曲の背斜軸 |、向斜軸 |)

続けているため、「活褶曲」あるいは「活動褶曲」とよばれる。褶曲構造の丘陵部では地層が凸状に変形しており、これを褶曲の背斜（あるいは背斜構造）といい、凹状の部分を向斜という。今回の地震は、中越地域の活褶曲の最も東側に位置する背斜である東山丘陵の直下に伏在する複数の断層が連鎖的にずれ動いて発生したものである。

今回の地震の震源域は、全国で褶曲構造が最も顕著に発達している地域の一つである。1960年代以降の約30年間にわたる精密水準測定の繰り返しから、この褶曲構造は現在もきわめて早い速度（1 kmの水平距離に対して年間約2～3 mmの隆起）で成長しつつあることが確認されている。この地殻変動の速度は、日本列島各地の平均的な速度の約20倍である。この成長を続ける活褶曲は、太平洋プレートの沈みこみによる圧縮応力が日本海東縁部にまで及んでいることを示しているが、それと同時にこの地域の地層や岩盤（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ことを示している。

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地質時代を通じて長期間累積すると、大きく傾斜し、折れ曲がった部分が岩盤の中に生まれ、その部分に歪 応力が集中する。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。プリンストン大学のスッペ（John Suppe）は断層の延長による褶曲の成長過程をモデル化した（図5）。弱い層中に形成された水平な断層がすべて、岩石が変形する（図5 - 上）。断層上方が分岐し、上の地層内に延びる（図5 - 中）。断層のすべりが続くと、褶曲が高く成長し、幅も広くなって形状が変わる（図5 - 下）。

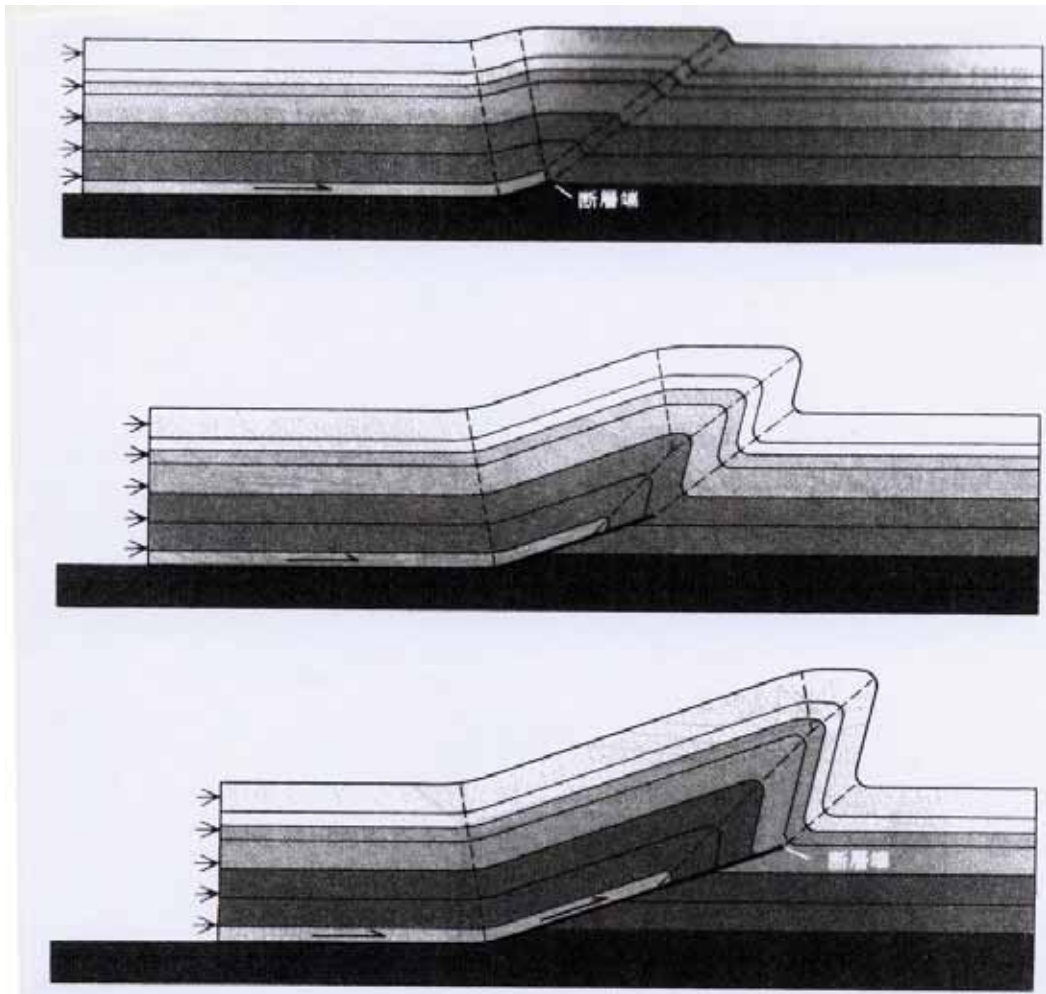


図5 断層の延長による褶曲の成長過程

(サイエンス 隠された断層で起きる大地震 R.S.スタイン/R.S.イエーツ(1989)より)

カリフォルニアを襲った褶曲地震として、1983年のコーリング地震(M6.5)が知られている。コーリング地震を引き起こした褶曲では、このようなプロセスが現に起きていると考えられる。コーリング地震はマグニチュード6を超えているにもかかわらず、地表断層が現れなかった。カリフォルニアでは、この程度の規模の地震の場合、地表に断層を生じるのが普通である。この地震による断層を覆っている褶曲地帯での地震時の地表の上下変動の観測値(縦のバー)と潜在断層モデルからの計算値(左側の曲線)で示してある(図6-1)。また、地震後の4年間の変形は右側の曲線で示してある。この右側の曲線で示すように断層が褶曲の中心部へと進行していることを示している。地震探査による地質図(図6-2)は、この背斜地域の地下深くに、多くの断層があることを示している。これらの断層が本震よりも小規模な変位をしたと考えれば、本震の後の余震が広く分布していることを説明できる。このようなパターンは、余震が断層上に一列に並ぶ地表断層地震とは、かなり対照的である。

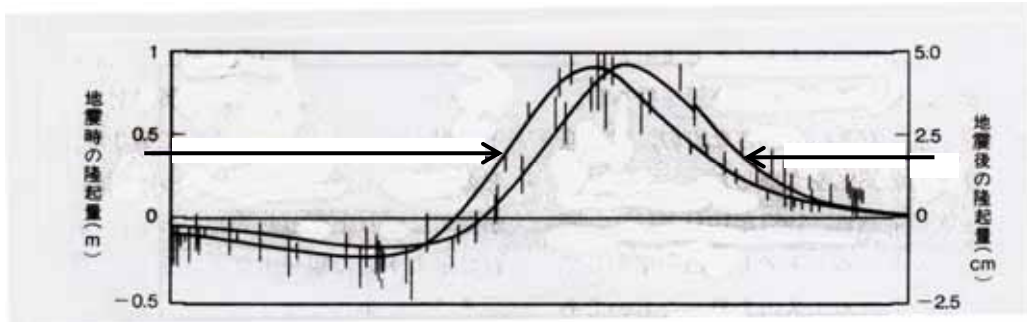


図 6 - 1 コーリング地震 : 褶曲地帯での地震時の地表の上下変動

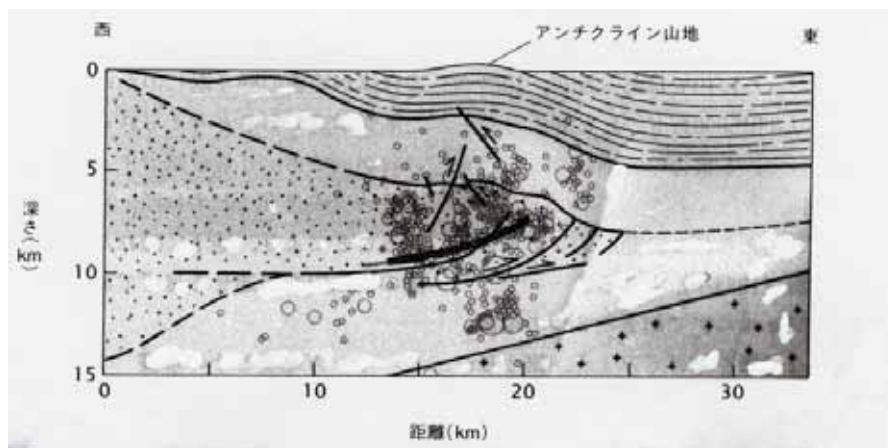


図 6 - 2 コーリング地震 :: 地震探査による地質図

1983年にカリフォルニアを襲ったコーリング地震(M=6.5)はマグニチュードが6を超えているにもかかわらず、地表断面が現れなかった。カリフォルニアでは、この程度の規模の地震の場合、地表に断層を生じるのが普通である。地震時の地表の上下変動、すなわち断層を覆う褶曲地帯の変動が上図に縦線で示してある(横軸は、下図の左端からの距離である。)上図左側の曲線は、数の潜在断層モデルから計算された変位である。地震後4年間の変形は、上図右側の曲線で示してある。地震後の変形の継続は、断層が褶曲の中心部へと進行していることを示している。地震調査による地質図は、この背斜地域の地下深くに、多くの断層があることを示している(下図の短い線)。1983年の地震のときに、これらの断層が小さな変位をしたと考えると、本震(一番大きな丸)の後の余震(小さな丸)が広く分布していることを説明できる。このようなパターンは、余震が断層上に一列に並び地表断層地震とは、かなり対照的である。

(サイエンス 隠された断層で起きる大地震 R.S.スタイン/R.S.イェーツ(1989)より)

岩盤が一旦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。岩盤が大きく変形した部分は、複数の断層によって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。

GPSによる地殻変動観測の結果によれば、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西へ傾き下がる断層が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。一方、10月27日の余

震（M6.1、最大震度6弱）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しており、本震の断層と共役の関係にある（図1，図3）。また水準測量の結果（図7）から、東山丘陵の背斜が約73cmも隆起し、今回の地震で褶曲の背斜がさらに成長したことが確認された。

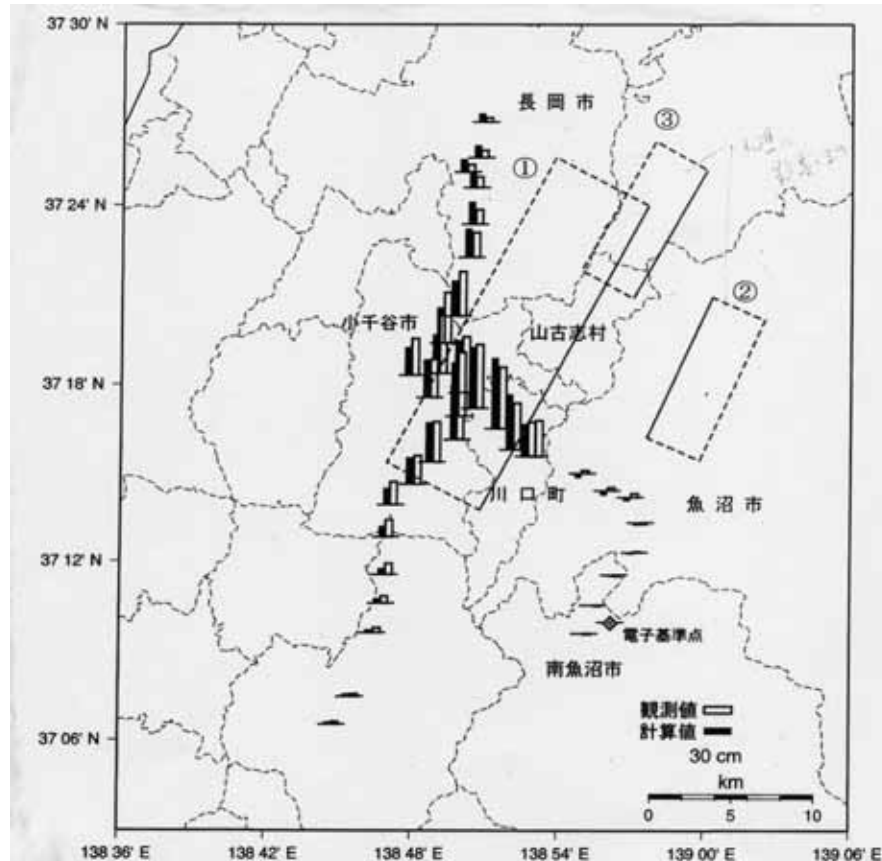


図7 水準測量による上下変動観測値と断層モデルから推定される上下変動量の比較
(国土地理院資料)

10/23 本震による断層モデル

10/27 余震による断層モデル

11/8 余震による断層モデル

断層モデルは、GEONET による地殻変動観測に基づいて推定したもので、本震の地震断層を1枚の矩形断層で近似しています。断層の形状は北東 - 南西走行で長さ約 22km、幅約 11km、上端の深さは約 3km で、西側に向かって傾斜約 53 度で深くなる面にあって、西側地塊が東側地塊に対して約 1.8m 隆起したものです。

4) 背斜直下の伏在断層と褶曲地震

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筋の背斜の中で最も東側に位置するものである。一般に、中越地方の褶曲構造は日本海沿岸で最も古く、東側に向かうほど新しいと推定されている。褶曲に伴う地震活動の活動度や地震の規模は、東寄りの新しい褶曲に伴うものほど活動が高く、地震の規模も大きいという傾向が見られる。

東山丘陵は、東山背斜ともよばれる（褶曲の山の部分を背斜、谷の部分を向斜という）。東山背斜の西隣には小千谷向斜があり、そこはほぼ信濃川流域にあたる。信濃川流域の西側は、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緩やかな畑地の斜面が広がる。これらの河岸段丘の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はそれが誕生した時点ではほぼ水平であった。しかし、その後の褶曲運動さらには断層運動による地震発生の繰り返しによって、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は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様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（片貝断層）の一部はかすかに地表に現れている（図8-1, -2）。その延長上でこれまでに大小の地震が発生している。

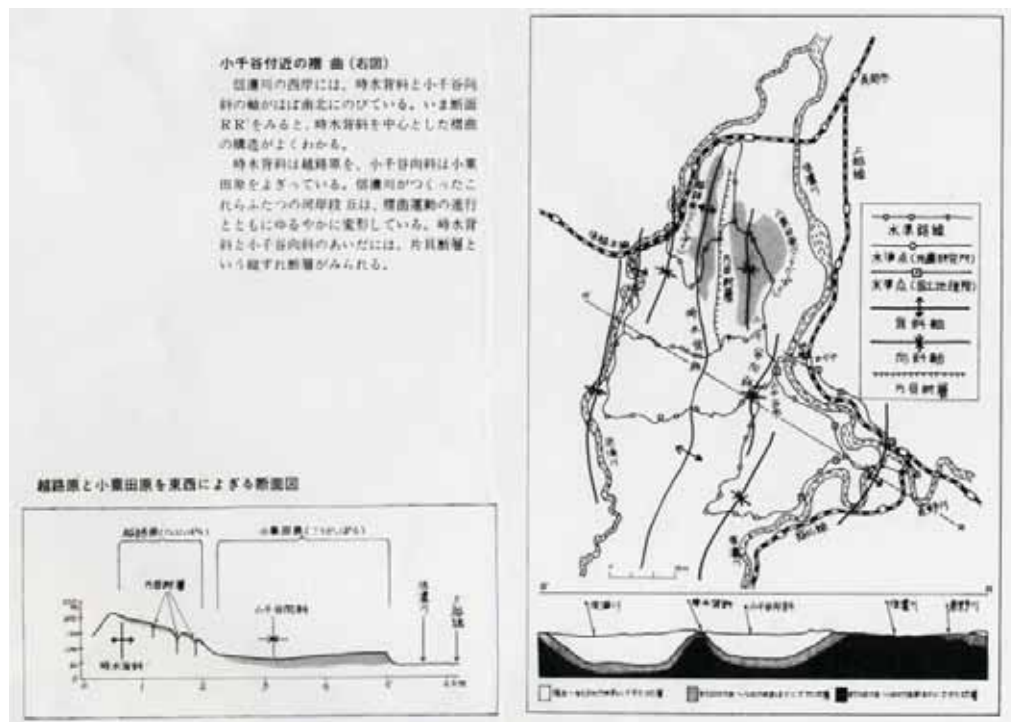


図 8-1 小千谷付近の褶曲と片貝断層（溝上恵、地震のなぞを追う、ポプラ社 1984）

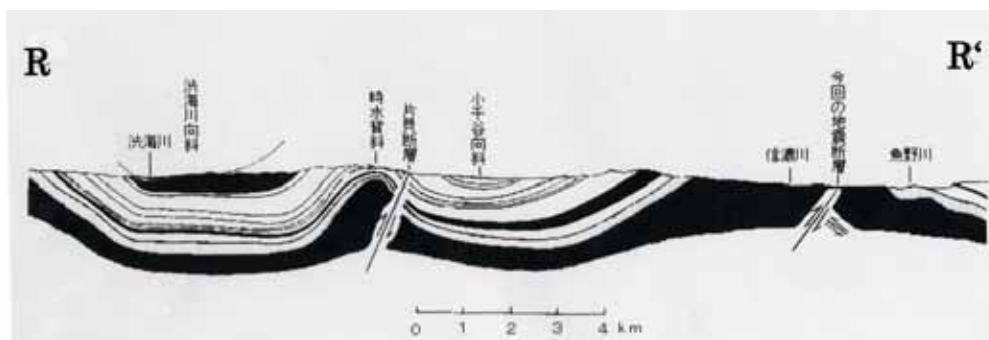


図 8-2 小千谷地域の活褶曲の断面図（溝上恵、地震のなぞを追う、ポプラ社 1984）

（図 8-1 の R-R'断面で見た背斜、向斜、逆断層）

片貝断層の北方延長にあたる長岡市付近で発生した被害地震には、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う地殻変動が観測された。これら2つの地震は共に典型的な震源の深さが浅い局地震であり、関原地震では田圃で石油ガス噴出口が生じ、長岡地震では被害が直径2 kmの範囲に集中し死者5人、住家全壊220棟、半壊465棟という被害が出た。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水準路線を含む水準網を設置し、1968年から1978年まで、さらに1991年の23年間にわたりほぼ2年間隔で時水背斜の地殻変動を観測した(図9)。その結果、1 kmの水平距離に対して年間約2.5 mmの隆起が観測された。この隆起が片貝断層のずれを示すものと考えれば、片貝断層は1828年三条地震や今回の地震を引き起こしたと同じタイプの逆断層であり、その断層が微小地震活動をともないつつほぼ連続的にすべっているものと考えられる。

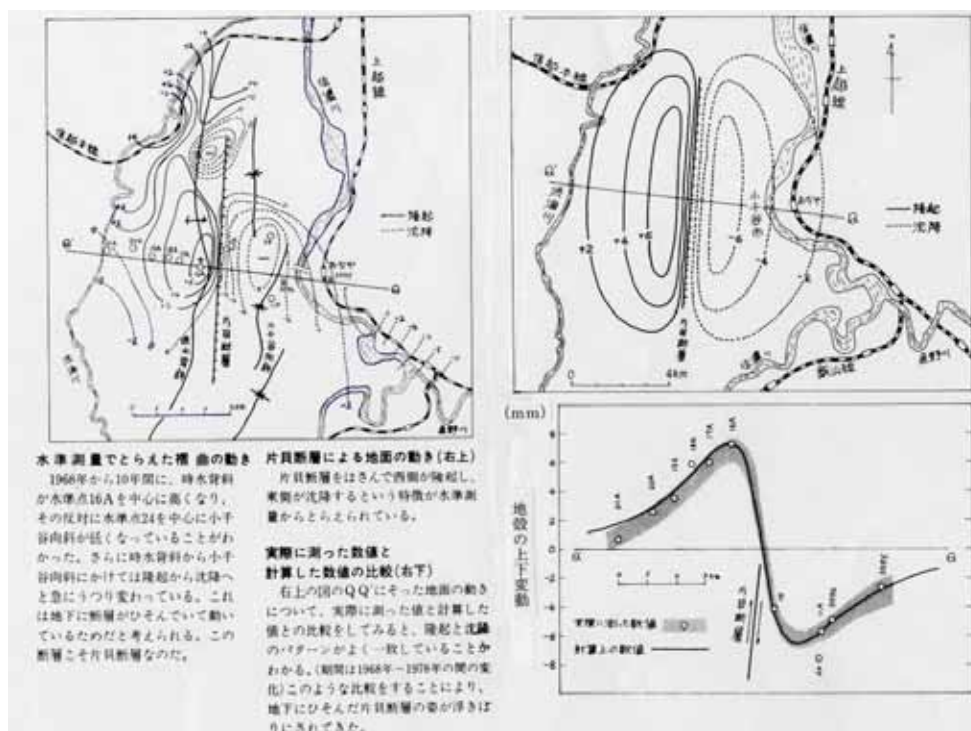


図9 水準測量でとらえた褶曲の動き (溝上恵、地震のなぞを追う、ポプラ社 1984)

小千谷市の西南西約15 km、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、局地的に地滑りなどの被害が出た。その後も1995年頃まで小規模な地震が多発した。その後、一旦は活動が衰えたが、2000年に入り再び活発化し、2001年には最大震度5弱の地震が発生した。このような高柳町直下で発生する褶曲地震は群発地震であり、長岡地震や関原地震のような本震 余震型とは異なる。このように中越地方の褶曲地震にも様々なタイプが見られる。

このように中越地方の褶曲地震にも様々なタイプのものが存在するのはなぜだろうか。その原因の一つは、地下における静水圧と流体圧と関係によるものと考えられる。

一般に地下3 kmより下では流体圧が静水圧を超える場合が多い。地表断層は、流体が地表に出るはけ口となるのに対して、褶曲はそれに蓋をする。岩石の中にある割れ目の中の流体圧が高いと、すべりに対する岩石の摩擦抵抗を下げ、断層と褶曲の両方を起こしやすくする。破壊後に岩石中の間隙に含まれる流体が拡散して、断層上の摩擦力を変え、ある割れ目をすべりやすくし、また逆に、他の割れ目をすべりにくくする。

その結果、急激な断層すべりによる地震のほかに、破壊時間が延びてゆっくり破壊する地震や小規模な群発性地震が発生し、さらには地震を起こさず断層が連続的にすべる場合など様々な断層すべりが生じうる。

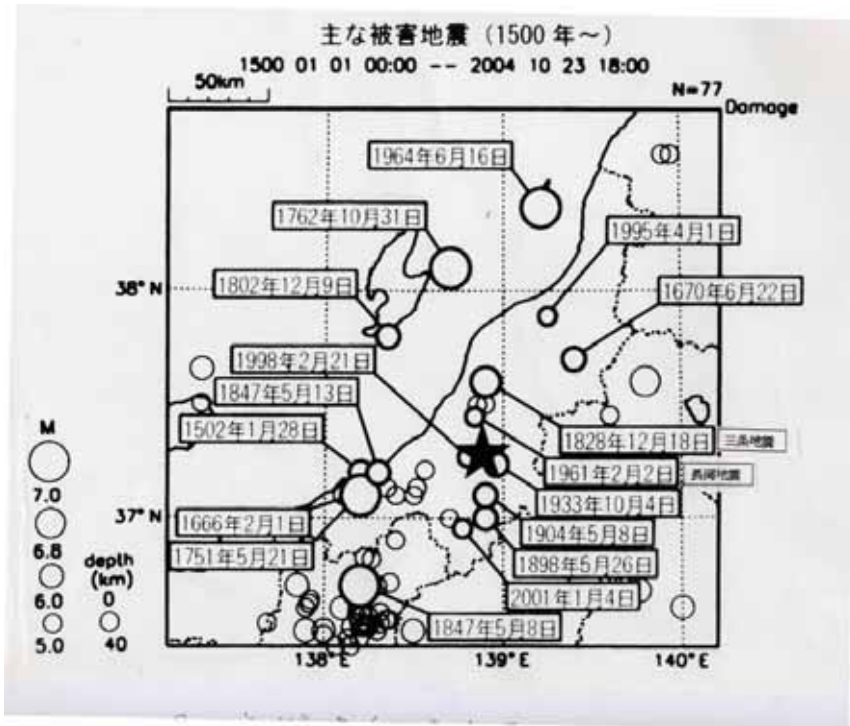
5) 新潟県中越地方は地震空白域か

新潟県中越地方では、今回の地震の外にも過去にM5～M6クラスの地震が数多く発生している。M4クラスやそれより小規模の地震を含め、この地域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、地震のメカニズムは、圧縮応力の主軸が西北西東南東方向の逆断層型で、断層の走向はこの地域の褶曲構造の走向と平行し、震源は概ね背斜軸の直下で、震源の深さは10 km前後かそれより浅い。

この事実は、新潟県中越地方の地震は、規模の大小にかかわらず活褶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。

一方、政府の地震調査委員会では、佐渡島北方沖や新潟平野南部は、M7.5～M7.8といった大規模な地震の発生の可能性のある地震空白域であるとして、地震発生の確率予測を行っている。しかし、過去の事例がほとんど知られておらず、この確率予測の信頼性は極めて低い。地震調査委員会は、今回の地震を含めてM5～M6クラスの浅い地震は調査の対象外であり全く言及していない。M5～M6クラスの地震あるいはそれより小規模の地震について言うならば、新潟平野南部は決して地震空白域ではない。この地域は、むしろ地震の頻発地域といった方が適当である。M5～M6クラスの地震の発生頻度はM7.5～M7.8の地震のそれと比較して、10～20倍も高い。そのため、発生頻度と蓋然性がより高く、しかも地盤災害につながる可能性の高いM5～M6クラスの地震を対象として先ず備えるべきであった。中越地方特有の活褶曲による丘陵地形は、この地域に住む人々にとって日常的な景観の一つに過ぎないだろう。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。

なお今回の地震の震源域の北側では、1887年にM5.7の地震が発生している。南側では1933年小千谷地震(M6.1)が発生している。東山背斜の北方延長では、1995年4月1日新潟県北部地震(M6.0)が発生し、負傷者67名、家屋の全壊190棟という被害が出た。また、1828年12月18日には、三条地震(M6.9)という今回の地震とほぼ同じ規模の地震が発生している(図10)。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、見付、今町、与板などで被害が多く、家屋の全壊9808棟、焼失1204棟、死者1443人と推定されているが、実際にはもっと大きな被害だったと言われる。地割れから水や砂が噴出し流砂現象が見られた。三条地震では、関連する褶曲構造が信濃川の堆積層に覆われて地表には現れていない。



年月日	M	主な被害
863. 7.10	不明	(山崩れ、民家倒壊、湧水あり、圧死者多数)
1502. 1.28	6.5~7	越後の国府(現直江津)で家屋の倒壊並びに死者多数
1666. 2. 1	6 3/4	高田城破損、死者約1500、住家倒壊多数
1670. 6.22	6 3/4	上川四方石で、死者13、家屋全壊503
1729. 8. 1	6.6~7	佐渡で死者、家屋倒壊あり(上図範囲外)
1751. 5.21	7~7.4	高田城破損、全体で死者2000、高田領の死者1128、家屋全壊及び消失6088
1762.10.31	7	石垣、家屋が破損、死者があり、鶴島村で津波により家屋流失26
1802.12. 9	6.5~7	佐渡3郡全体で死者19、家屋全壊1150、同焼失328(三桑地震)三桑・見附・今町・与板などで被害、死者1400、家屋倒壊9800、同焼失1200
1828.12.18	6.9	津波を伴う、死者42、家屋全壊103(上図範囲外)
1833.12. 7	7 1/2	(善光寺地震: 死者12000、全壊家屋34000)(上図範囲外)
1847. 5. 8	7.4	善光寺地震の被害と区別できないところが多い
1847. 5.13	6 1/2	善光寺地震の被害と区別できないところが多い
1961. 2. 2	5.2	死者5、住家全壊220
1964. 6.16	7.5	(新潟地震)新潟市内で地盤の流動、不同沈下による被害が著しかった。死者13、負傷者315、住家全壊1448、同全壊290
1995. 4. 1	5.5	負傷者82、家屋全壊55
2001. 1. 4	5.3	負傷者2、住家一部破損592

図 10 主な被害地震(1500年~)星印は2004年新潟県中越地震(気象庁資料)
(下表は中越地方周辺の被害地震と主な被害の内容)

6) まとめ 地震防災対策の盲点

中山間地の直下地震

新潟県中越地震の特徴は、強い揺れを伴った余震がたて続けに発生したこと、さらに震源域とその周辺が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被害につながったことである。今回の地震は、新潟平野南部の活褶曲地域の西縁に位置する東山丘陵(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いて発生したものである。このタイプの地震(褶曲地震)の特徴は、大きく分けて4つある。

それは

- i)地震の際にすべった断層が地表に現れず、「隠れた断層による大地震」となること、
- ii)数百万年以内にできた（新しい）背斜構造の直下で起きること、
- iii)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、
- iv)複数の断層が連鎖的にずれ動き、相対的に規模の大きい余震が連続的に発生することである。

中越地域には、このような「褶曲地震」を引き起こす可能性のある断層が多く伏在していると考えられる。さらに、新潟県から青森県にかけての日本海東縁部では、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広く断層が伏在しているものと考えられる。この褶曲構造に伴う「隠れた断層」による大地震については、まだ政府による調査の目が及んでいない。新潟県中越地震は、この死角ないしは盲点を突かれた結果となった。日本海東縁部の海岸平野や盆地では、新第三系の地層が強く褶曲しており、この褶曲運動は第三紀末ごろから激しくなり、現在も進行中である。これらの地域では、まだ十分に固まっていない泥岩が山腹に露出していて、その部分を中心に地滑りが多発する。それに加えて地下10 km前後では褶曲地震が発生するため、地盤災害の発生を助長する。青森県の津軽平野 岩木川、秋田県の能代平野 米代川、秋田平野 雄物川、山形県の酒田平野、新城盆地 最上川などの大河川とその支流の地学的環境は、軟弱地盤の分布とその直下での褶曲地震の発生の可能性を含めて、新潟平野 信濃川とその支流と共通点が多い(図11-1)。それらの支流には傾斜地に挟まれた中山間地の集落が分布している。この活褶曲が形成される背景には、太平洋プレートの沈み込みに伴い東北日本の地殻内部にはほぼ、東西方向の圧縮応力が作用し続けていることがある(図11-2)。この圧縮応力により日本海東縁部の周辺には地殻歪の集中帯が生じていることがGPS観測により検知された(図11-3)。

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、わが国は世界有数の地震大国であり、M7以下程度の規模の地震なら、いつどこで発生しても不思議ではない。国土の約70%が山地であり、そこには山と傾斜地に囲まれた多くの内陸盆地や谷間が分布している。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。とくに今回の地震では、地盤条件の悪い中山間地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揺れに耐えた場合でも、地盤の崩壊によって致命的な損害に至ったケースがきわめて多い。また、土砂崩壊による道路の寸断による集落の孤立、信濃川支流の河川閉塞による集落全体の水没が発生した。

過去を振り返ると、内陸地震による被害について多くの事例を見ることができる。1847年善光寺地震(M7.4)では、信濃川上流の犀川が塞き止められた。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日でこの堤が破れ、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、信濃川河口で約3mの水位に達したとい

う。最近では、1968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、山麓では大滝村が土石流に飲み込まれ、道路が寸断されて多くの集落が孤立した。

今世紀前半、日本列島は本格的な地震活動期を迎えようとしている。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間の河川、その下流一帯は地震に対して脆弱性が増大している。地震防災対策を、大都市部に対してだけではなく、内陸部とくに中山間地に対しても自然環境の回復、保全を視野に入れつつ行うことが急務である。



図11-1 新潟県中越地方を含む日本海東縁部周辺に分布する活褶曲
(雑誌 ニュートン 2004年1月号)

(活褶曲の直下には隠れた断層があり被害地震を引き起こす可能性がある)

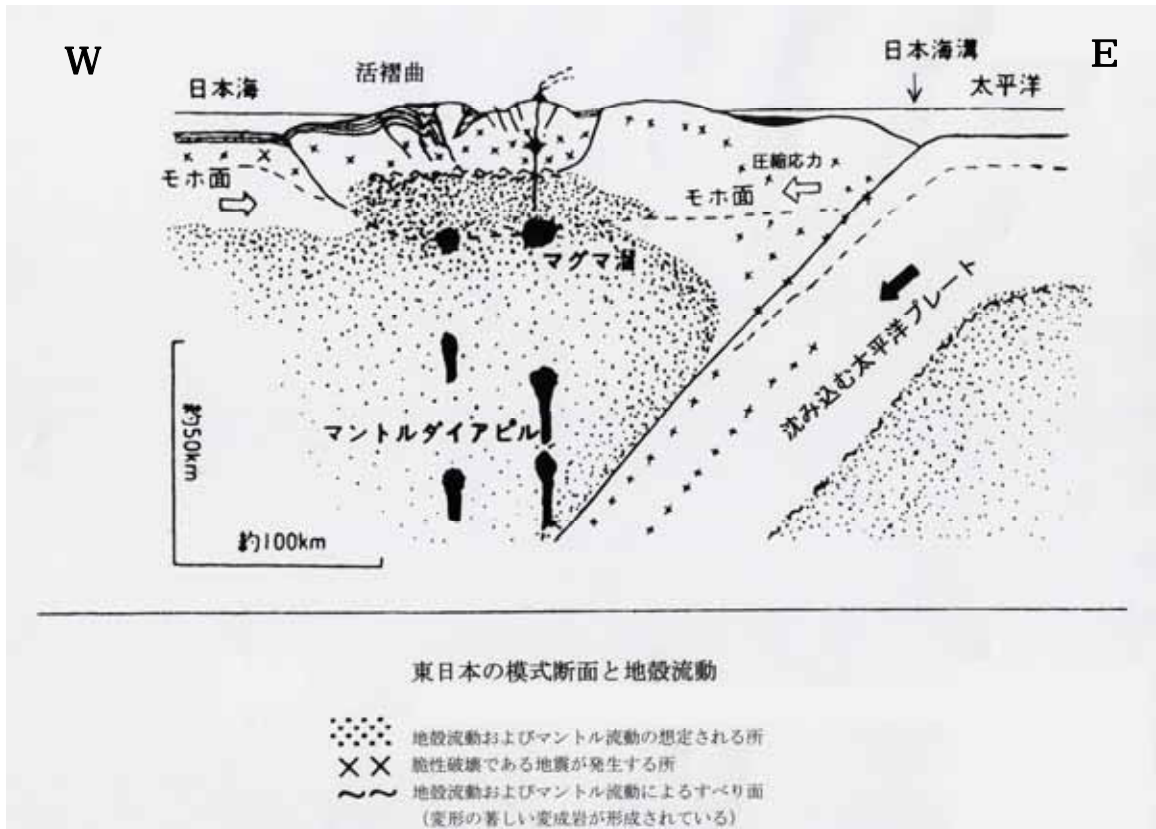


図11-2 東日本の模式断面と地殻流動
(沈み込む太平洋プレートと地盤内に作用する東西大陸の圧縮応力)



図11-3 GPS 観測による日本海東縁部における歪集中帯 (国土地理院資料)

【参考文献】

- 1) 特集・平成16年(2004年)新潟県中越地震について
平成16年10月地震・火山月報(防災編) 気象庁、41-87
- 2) 平成16年(2004年)新潟県中越地震の活動概況、
気象庁・地震予知情報課、地震予知連絡会会報、第37巻、平成13年3月、
258-268、国土地理院
- 3) 2004年新潟県中越地震、地震予知連絡会会報、第37巻、平成13年3月、
318-326、東京大学地震研究所
- 4) 新潟県中越地震「活褶曲帯」にうごめく断層
雑誌ニュートン2005年1月号、60-71
- 5) 活動褶曲に関する研究の概要 東京大学地震研究所 1956年1月
- 6) 精密水準改測による小千谷地域の活褶曲の検出 溝上 恵、中村一明、井筒屋貞勝
地震研究所彙報、Vol.55, 1980、pp.199-224
- 7) High Angle Reverse Faults in the Interaxial Zone of Active Folds in the Inner Belt
Northeast Japan, M. Mizoue, T. Yokota and I. Nakamura,
Bull. ERI, Vol.57, 1982, 359-377.
- 8) 北陸地方の地殻変動 国土地理院、地震予知連絡会会報、第73巻、平成17年3月、
269-317
- 9) 宮村撰三、溝上 恵、中村一明、岡田 淳、杉村 新、水準点新設による活褶曲の研究、
1968、第5回災害科学シンポジウム、169-170。
- 10) 新潟県中越地方の地震に伴う地殻変動と断層モデル、2004年10月24日、
国土地理院地殻活動センター資料
- 11) Seismic Potential Reversed By Surface Folding: 1983 Coalinga,
California, Earthquake. Ross. S. Stein and Geoffrey C.P. King in Science,
Vol.224, No.465, 869, May 25, 1981
- 12) 溝上恵著 地震のなぞを追う - 私の地震観測ノート - 、ポプラ社 1984

【略歴】

溝上 恵(みぞうえ めぐみ)

1936年新潟県生まれ。

東京大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程修了。

1985年東京大学地震研究所教授。理学博士。

地震予知観測情報センター長、和歌山微小地震観測所長等を兼任、97年定年退官し、東京大学名誉教授。96年より地震防災対策強化地域判定会長を務める。

ほか中央防災会議委員、地震予知連絡会委員、東京都防災顧問等。