

新潟県中越地震と地質構造との関係

岡村 行信¹⁾・柳沢 幸夫²⁾

1. 震源周辺域の地質概略

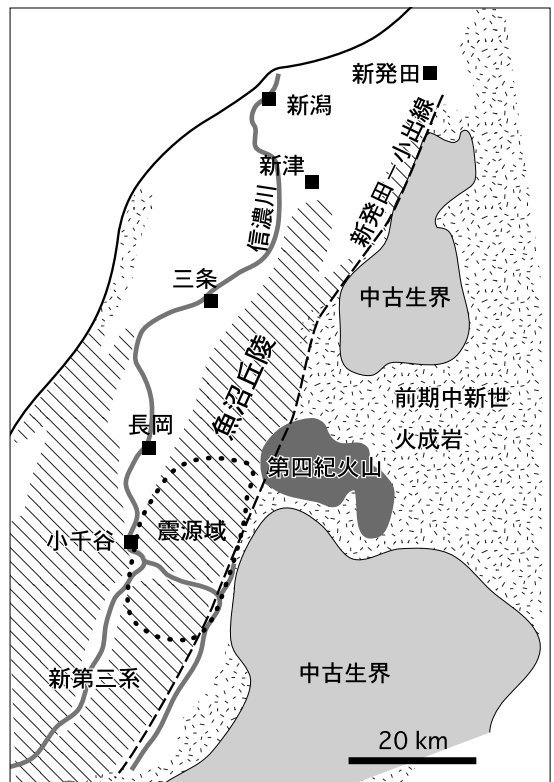
新潟県中越地震は、信濃川の東側に沿って発達する魚沼丘陵（北部は東山丘陵とも呼ばれる）で発生した（第1図）。この丘陵は、新第三紀の厚い堆積物が分布する新潟堆積盆地の最も東側に分布し、その東縁の新発田-小出線を境として、東側には先新第三系や前期中新世の火成岩が露出する越後山地が広がる（柳沢ほか, 1986；第1図）。

魚沼丘陵から西側の糸魚川-静岡線までの地域は、現在は断層・褶曲運動によって山地となっているが、前期中新世末～中期中新世に急速に沈降して形成された堆積盆地である（小林・立石, 1992）。以前は日本海の拡大時に伸張応力によって地殻が引き延ばされることによって形成された大規模なリフトであったと考えられる。堆積盆地には石油探査と開発のために多くのボーリングが実施されており、それによると最大で約5,000mの厚さの地層が分布している（小林・立石, 1992）。それらの地層は、鮮新世後期に始まったと考えられている北北東-南南西方向の逆断層と褶曲によって大きく変形し（池田ほか, 2002）、地質構造を反映した山地を形成している。

一方越後山地には、中期中新世以降の顕著な断層や褶曲は認められず、中期中新世以降は比較的安定した領域であったと考えられる。ただし、越後山地も前期中新世以前には活発な断層運動と火成活動の場であった。そこには、新潟堆積盆地ではあまり明瞭でない北西-南東方向の地質境界が認められ、それによって先新第三系と前期中新世火成岩類の分布が規制されている。中越地震の震源域は、北西-南東方向に伸びる中生界分布域

の北西延長上に一致し（第1図）、越後山地の地質構造も新潟堆積盆地の構造に影響を与え、それが中越地震の発生にも関係していることを示唆している。

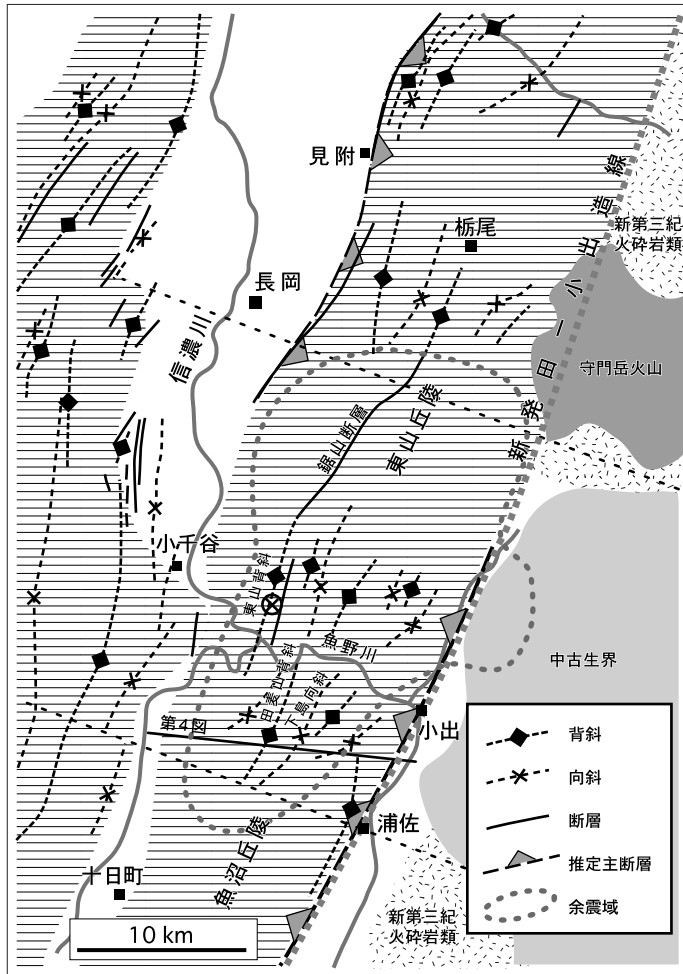
魚沼丘陵は幅約15km、長さ約80kmに達する背斜構造である。山頂の標高は600-800mに達するが、その途中で魚野川だけが丘陵を横切って流れており、地質の研究者は北側を東山丘陵、南側を魚沼丘陵と呼ぶことが多い。魚野川は信濃川か



第1図 新潟県中越地震震源域周辺の地質概略。

1) 産総研 活断層研究センター
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：新潟県中越地震, 断層関連褶曲, バランス断面, 魚沼丘陵



第2図 魚沼丘陵中心部及びその周辺の地質構造.

ら越後湯沢方面に抜ける唯一の低地であることから、東京と新潟を結ぶ主要な道路及び鉄道がすべてここに集中している交通の要所でもある。そこで中越地震が発生したことから、地震直後に新潟と東京との交通がマヒしてしまった。

2. 魚沼丘陵の地質構造

魚沼丘陵は中期中新世から第四紀の地層が隆起した複背斜構造である(柳沢ほか, 1986)。丘陵に分布する最も新しい海成層は魚沼層群と呼ばれ、後期鮮新世から前期更新世の堆積物である。その堆積期間中に、堆積盆地の深度が浅くなり、陸成層に変化していったことがわかっている。さらに、海成層が堆積していた期間中でも、東側ほど深度が

浅かったことが知られている。従って、第四紀の約200万年間に1,000m前後隆起したと推定される。

一般に背斜構造は幅広い緩やかな翼と幅の狭い急傾斜する翼とからなる非対称な断面を持ち、その急傾斜する翼の基部に逆断層が発達することが多い。魚沼丘陵も非対称な断面を持つ背斜構造からなる。三条市以北では東翼が急傾斜しその基部に活断層が分布する。一方、三条市から長岡までの中部では西翼が急傾斜し、丘陵の西縁に沿って活断層が発達するのに対して、長岡の南側では再び西翼が急傾斜し、その東縁に活断層が認められる(第2図)。

また南部はさらに、単純な背斜構造からなる南半部とやや複雑な複背斜構造からなる北半部に区分できる(第2図)。中越地震の震源域は、複雑な

複背斜構造からなる南部の北半部にほぼ限られる。その構造の特徴は丘陵の中心部からやや西側に沿って、西側の背斜構造と東側の向斜構造との間に急傾斜した撓曲帯が発達することである。そのような地質構造の特徴が地震の破壊領域を決める一つの要因になった可能性が高い。

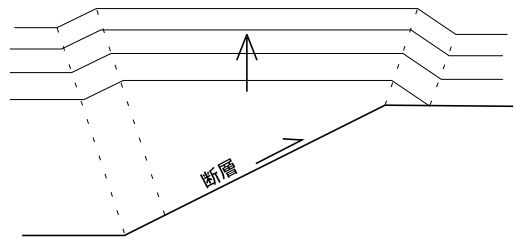
3. 断層関連褶曲

地震が発生すると活断層に注目が集まるが、逆断層の破壊によって発生した地震は、逆断層の上盤全体の隆起を伴っている。活断層は隆起域の外縁に沿って出現し、その外側の沈降域との境界線を示すことが多い。地震毎に上盤が繰り返し隆起することによって、背斜構造が形成されてきた。上盤がどのように隆起するかは、逆断層の形態に規制されており、それが背斜構造の形態に反映されることが考えられる。すなわち、褶曲構造の形態は断層の形態を反映したものであると考えるのが断層関連褶曲 (Fault-related fold) で、その考えを逆に利用することによって、褶曲の形態から地下深部の見えない断層の形態を推定することができる。

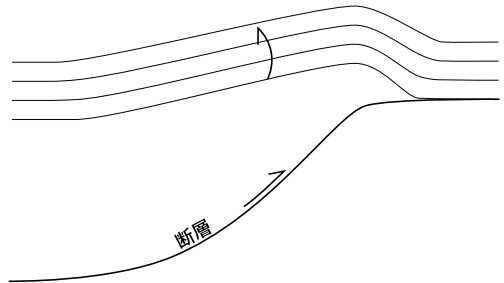
実際に褶曲構造だけから地下深部の断層の形態を明らかにすることはできないが、さまざまな手がかりを得ることはできる。例えば、断層面が傾斜の一定な平面であれば、上盤の地層は傾斜せずに隆起する。その結果、箱形の背斜構造が形成される (第3図a)。また、断層面が下に凸の曲面であれば、上盤全体が回転しながら隆起し、後翼が幅広い非対称な背斜構造が発達する (第3図b)。断層面の傾斜が変化すると、急傾斜部で背斜構造が形成され緩傾斜部は向斜構造になる。すなわち断層面の傾斜が変化するだけで複背斜構造が形成されるのである (第3図c)。

褶曲構造から地下の逆断層を推定するには、断層が活動し始める前と現在の地層の形態をまず知る必要がある。さらに上盤の変形様式を仮定する必要がある。現在の地層の形態は、地質調査を詳細に実施することによって明らかにできる。地層が地下に分布する場合には反射断面を用いた方がよいし、既に浸食されてしまっている場合には、その周辺の地層の構造から浸食された地層の形態を推

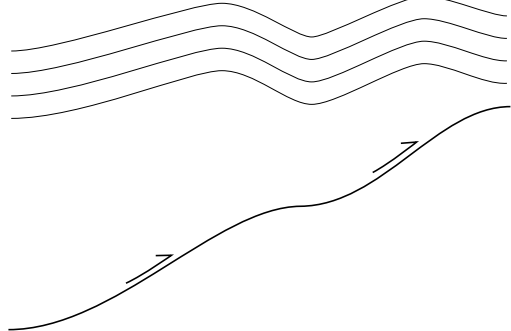
a. 箱形背斜



b. 非対称背斜



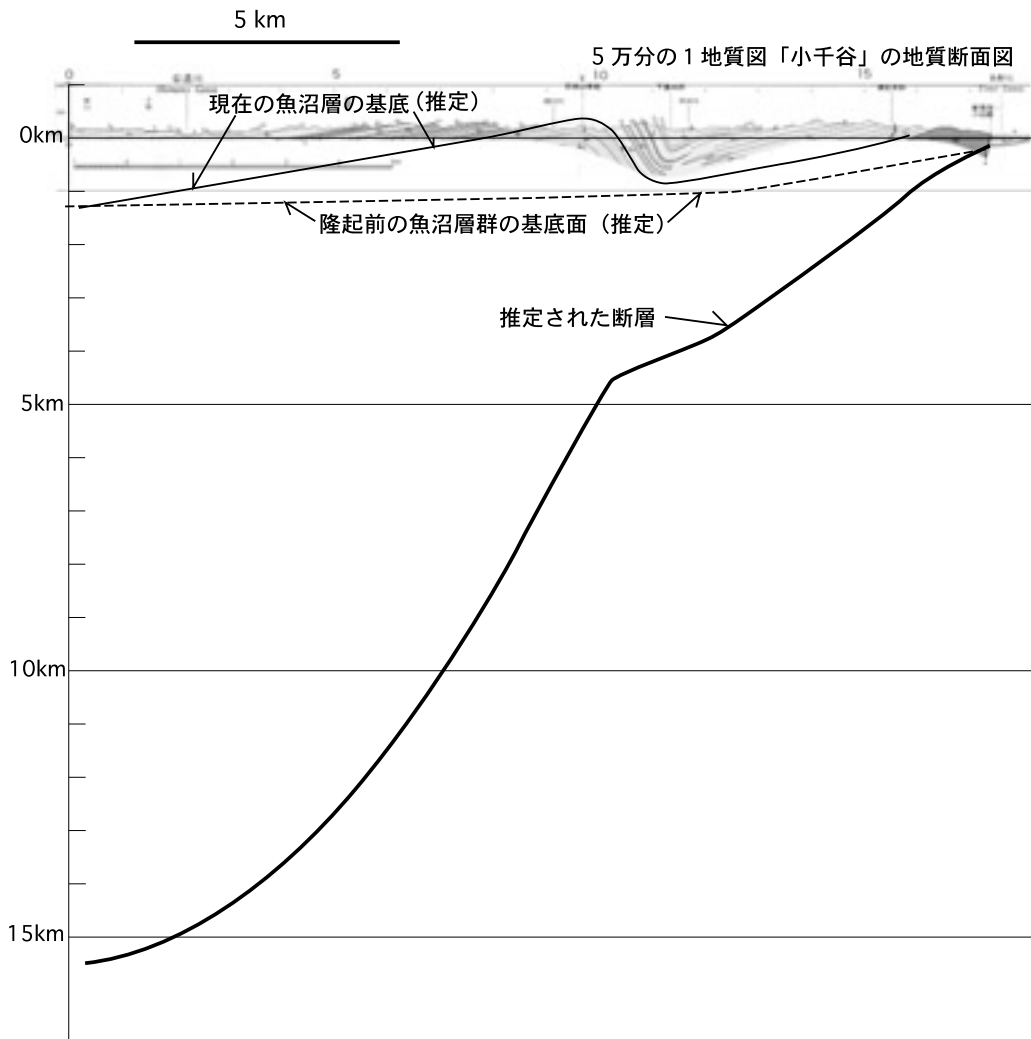
c. 複背斜



第3図 断層形態の違いによる褶曲構造の変化。

- 断層の傾斜が一定の場合には箱形褶曲になる。
- 断層の傾斜が上部に向かって増す場合、幅広い緩やかな後翼と急傾斜する幅の狭い前翼が形成される。
- 断層の傾斜が緩急を繰り返す場合には、断層面が急傾斜する部分で背斜構造が形成される。

定する必要がある。変形前の地層の形態は、地層の岩相や堆積構造、含まれる化石などから明らかにできる堆積時の斜面の傾斜方向や水深の違いなどに基づいて推定する。上盤の変形様式は単純でない。通常は地層面に平行な滑りが生じることによって上盤が変形すると仮定する。この仮定は、変形によって地層の長さや厚さは変化しないという条件も含んでいる。



第4図 魚沼丘陵の背斜構造を断層関連褶曲と考えて推定した丘陵下の断層面。断面図は5万分の1地質図幅「小千谷」より引用し、魚沼層群の基底をその上下の層理面の傾斜を参考に求めた。

以上の情報を基に断層の形態を推定することができる。その際、上盤がその断層面上を滑ることによって、堆積時の地層の形態から、現在の褶曲した地層の形態に変化する必要がある。もちろん仮定した変形様式に従って上盤が変形する。それを満足する断層の形態が、実際に地下に存在する断層の形態であると考えられる。ここでは断層面の推定を、バランス断面解釈ソフトの2DMove (Midland Valley社)を用いて行った。

第4図は、5万分の1地質図幅「小千谷」(柳沢ほか, 1986)の断面図を基に、魚沼層群基底の層準の現在と堆積時の形態を推定し、層理面滑りで上

盤が変形すると仮定して推定した断層面である。断層の変位量は地質断面図からは推定できない。そこで、断層変位量と断層の深さの積が断面上での地層の隆起面積と等しいという関係を用いた。地層の隆起面積は第4図からわかる。また、中越地震の余震域では、深さ15km付近まで余震が分布することから、断層の深度を約15kmとした。また、断層面は1枚であると仮定している。この地質断面図の特徴である田麦山背斜とその東側の下島向斜を説明するためには、田麦山背斜下で急傾斜しその東側で緩やかになる断層面を考える必要がある。一方、南側の田麦山背斜が存在しない魚沼丘

陵で、同じ方法を用いて地下の断層形態を推定すると、断層途中の急傾斜する部分は存在しないと考えられる。おそらく、地表で観察される褶曲構造の違いは地下深部の断層面の形態の違いを反映しており、その形態の変化が地震の破壊領域を決めている可能性が考えられる。

4. 褶曲構造を用いた断層の推定と活断層の評価の可能性

以上述べたような断層関連褶曲の考え方をを用いることによって、褶曲構造の地下に伏在する断層の形態を推定することが可能になり、断層の累積変位量や100万年オーダーでの平均変位速度も推定できる。それと1回の地震の滑り量から、平均地震発生間隔を推定することもできる。変位速度が長期間変化せず、また地震時の変位量も毎回同じであるという仮定の上での推定であるが、従来のトレンチ調査に基づいた活動履歴調査と組み合わせることによって、地震発生頻度の推定精度を向上させることができると考えられる。

また、同じ手法で断層面の推定を面的に行うことによって、一連の背斜構造下の断層面の形状の変化も推定できる。断層面の形状は破壊領域を決める一つの重要な要因になっていると考えられ、地震の規模を推定するのに役立つ可能性がある。また、さらに、褶曲の成長様式が明らかにできれば、背斜構造の中でも最近の地震で歪みが集中す

る領域を明らかにでき、それと地滑りなどとの関係も議論できるかもしれない。

新潟堆積盆地から北部フォッサマグナには、褶曲した新第三系が広く発達しており、断層関連褶曲の考え方を広く適用できる場所である。それらの構造を用いて地下の断層を推定することは、一部では行われているが(例えばOkamura, 2003)、今後、活断層の履歴調査だけでなく、褶曲構造の解析も広げていくことによって、この地域の活断層評価に貢献できる可能性がある。

謝辞: 地質情報研究部門の高橋雅樹主任研究員からは、中越地震震源域と先新第三系との関係について重要な助言を受けた。

参考文献

- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 (2002): 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254p.
 小林巖夫・大野隆一郎 (1988): 北部フォッサマグナ地域, 日本の地質 4, 中部地方I, 64-71, 共立出版.
 小林巖夫・立石雅昭 (1992): 新潟地域における新第三系の層序と新第三紀古地理, 地質学論集, 37, 53-70.
 Okamura, Y. (2003): Fault-related folds and an imbricate thrust system on the northwestern margin of the northern Fossa Magna region, central Japan, *The Island Arc*, 12, 61-73.
 柳沢幸夫・小林巖夫・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一 (1986): 小千谷地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 177p.

OKAMURA Yukinobu and YANAGISAWA Yukio (2005): Relationship between the geologic structure and the Chuetsu earthquake.

<受付: 2005年1月25日>