

日本列島各地に大雨をもたらした2つの台風通過直後の2004年10月23日夕刻に新潟県中越地方においてM6.8の地震が起こり、多大な地質災害を起こし、多くの方々が被災された。

#### 急速隆起・沈降境界域としての中越地域

中越地域は、弧状に屈曲する東北日本弧と日本列島を南北に分断するフォッサマグナとの交差域にあり、日本列島のテクトニクスにおいて重要な位置を占めている。西方の飛騨山地と南方の越後山地は急速な隆起を続け、世界で最も若い冷却固結マグマ溜まり花崗岩が滝谷および谷川岳に露出し、日本におけるロッククライミングのメッカとなっている。東北日本弧脊梁の岩手山西方では、固結しつつあるマグマ溜まり頂部が地熱開発ボーリングによって海水準下2000mで捉えられている(「地質基準」116頁)。これらの花崗岩も同程度の深度で固結したとすると数千m隆起したことになる。北方には、急速に沈降する新潟平野があり、中越地域は急速に隆起する山地と急速に沈降する平野の境界部に位置している。

#### 活褶曲地域としての中越地域

北部フォッサマグナから新潟平野へ流れ抜ける信濃川では、その流域に形成された河岸段丘面が褶曲構造と調和的な変位をしており、活褶曲として有名である。今回の中越地震の震源地は、活褶曲が最初に報告された信濃川流域の東岸域に当たる。北部フォッサマグナから新潟平野における褶曲は、典型的な同心褶曲である(「地質基準」40頁)。この型の褶曲では、地層の厚さが変わらないので、断面図上の層理面は平行した曲線として表現でき、定規とコンパスを用いるバスク法が適用できる。褶曲構造が同心であれば、向斜部では深度とともに曲率半径が増大するのに対し、背斜部では減少する。松本・長野地域には同心褶曲構造の深部が地表に露出しているが、激しく変形して断層に切断された狭い背斜部を境界として広い向斜部が並んでいる(「地質学調査の基本」42頁)。向斜部は上位の砂岩優勢な海底扇状地堆積物からなり、背斜部は流動変形し易い下位の泥質岩からなっている。このような同心褶曲の特徴は、褶曲構造の下底面で離脱するとともに層理面におけるすべりがなければ実現されない。向斜構造の境界となっている幅の狭い背斜部は、離脱面から上方に向かうひだの筋に対応する。

#### 大陸片境界域としての中越地域

北部フォッサマグナから新潟地域は、1500万年前に日本列島がアジア大陸東縁部から分離した際に形成された日本海の南東端に当たり、中越地域は日本海海底玄武岩と大陸片との境界部に位置する。日本海拡大後に遠洋性泥岩が堆積し、その上を日本列島から供給された大量の土砂が海底扇状地としておおい、魚沼層堆積期にその上面は海面上に達した。日本海拡大後の泥質堆積物が、同心褶曲の離脱面として機能している。

#### 褶曲構造下の構造

地表の地質調査や油田掘削によって同心褶曲構造が詳細に解明されているが、離脱面以下についての情報は乏しい。本年11月、東京大学出版会から「日本列島重力アトラス - 西南日本および中央日本」(山本・志知編, 2004)が出版され、褶曲構造下の離脱面について検討できるようになった。この重力アトラスとは別にアジア航測(株)は、同じ重力異常データについて起伏状態を詳細に表現できる赤色立体地図(Red Relief Image Map, 俗称「内臓マップ」; 千葉・鈴木2004)を用いてブーゲ異常起伏図を2004年9月の地質学会千葉大会に公開した。同心褶曲している海底扇状地堆積物の比重はブーゲ異常算出に用いられた比重2.67より小さいが、海底玄武岩や

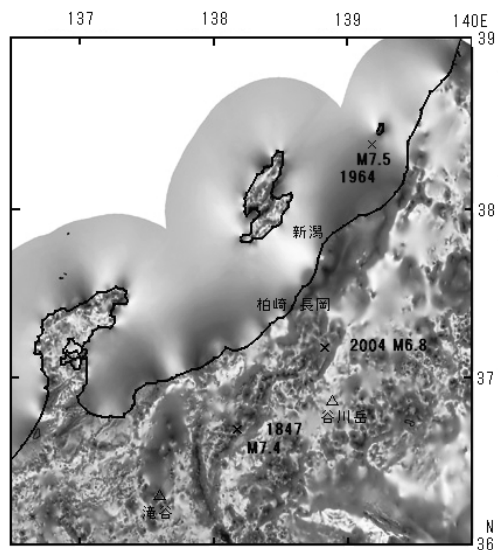


図1. ブーゲ異常起伏図。2004年10月の新潟県中越地震、1964年の新潟地震、1847年の善光寺地震の震源位置と世界で最も新しい固結したマグマ溜まりが露出している滝谷と谷川岳。中越地域ではブーゲ異常起伏が大規模重力崩壊の形態をしている。この起伏図は、山本・志知(2004編)の重力データを用いてアジア航測(株)が作成した。

大陸片の比重はより大きいことから、この起伏図は海底玄武岩や大陸片上面の起伏に対応する。新潟から長岡の東方には、平野と山地の境界に沿って北北東-南南西方向に日本海側に急減するブーゲ異常の傾斜面が続き、その南南西方向延長部の長野平野の東方に存在するが、その間の中越地域では、この急斜面は南東方向に大きく湾入している(図1)。この急斜面より東側には日本海拡大前の中新世前期の堆積物があり、この急斜面が大陸片の境界に対応している。この斜面の湾入部の北西方の柏崎付近には高まりが存在し、その間の凹所の軸部を信濃川が流れている。この起伏形態は、地すべり地域に一般的に見られる円弧すべりの様相(「地質学調査の基本」169頁)を呈している。すなわち、南東に湾入している急斜面は滑落斜面に、信濃川に沿う凹軸は滑落斜面下の凹状地に、柏崎付近が脚部の高まりに相当する。この大規模崩壊は引張応力場のもとにあった日本海拡大時に起こり、現在の日本列島テクトニクスによる圧縮応力場のもとにその離脱面が元に戻される方向に運動した(反転テクトニクス)ため、日本海拡大後この凹所を埋積した堆積物が同心褶曲して油田・ガス田になっている。今回のM6.8の中越地震はブーゲ異常急変斜面上で起こったが、1847年の善光寺地震M7.4、1964年の新潟地震M7.5も同様に大陸片と日本海との境界部で起こっている。

#### 中越地域の三重離脱面

中越地震の震源地である山古志村の2万5千分の1地形図を見ると、地表の殆どが地すべり地形によって覆われている(本誌11月号表紙写真: 向山, 2004)。この地すべりによって形成される窪地は特産の錦鯉の養殖、緩やかな丘陵は牧畜に利用されており、多くの恩恵をもたらしている。しかし、この恩恵豊かな地域は、日本海拡大時に形成された重力崩壊による離脱面と、同心褶曲構造下底面の離脱面、そして同心褶曲構造の上面の地表付近の地すべりの離脱面と、三重の離脱面の上に載っていることになる(図2)。今回の中越地震は、地下の地質体の破断によって生じたものである。三つの離脱面のい

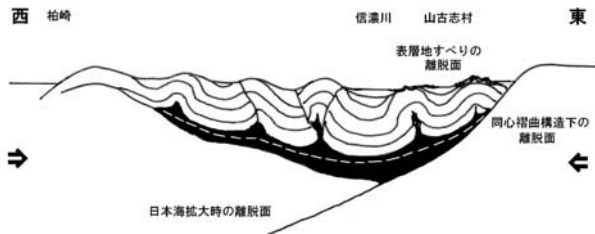


図2. 中越地方の三重の離脱面概念図。中越地震の震源域には、地表付近の地すべりによる離脱面、同心褶曲構造下の離脱面、日本海拡大時に大陸から日本列島が分離した時に生じた大規模重力崩壊による離脱面と三つの離脱面が地下に存在している。

ずれが破断したのか、離脱面から派生してその上位の地質体を切断する破断であるのかその特定は困難であるが、褶曲構造の形成過程や離脱面を考慮した深部の地質構造探査が望まれる。

### 中越地域を支配するプレート運動

今回の地震活動は日本列島のテクトニクスが駆動している。中部地方では太平洋・フィリピン海・北米・アムールの4つのプレートが関与しているが、房総沖の海溝・海溝・海溝型プレート境界三重会合点が重要な役割を演じている。フィリピン海プレートの北西進に伴い伊豆海溝は日本海溝の南方延長よりも西方に後退するが、これらの海溝に沈み込む太平洋プレートは地球上で最も古く厚い海洋プレートなので、日本海溝と伊豆海溝との接続部のずれに合わせて沈み込まず、日本海溝および東北日本弧を伊豆海溝の位置まで弧状に屈曲させ、西南日本を東西に圧縮している (Niitsuma, 1996・2004)。中越地域は東北日本弧と中部日本の境界域に位置し、フィリピン海プレートと太平洋プレートの動きに対して鋭敏に反応する。

### 中越地震とプレート境界の地震活動および地殻変動

気象庁発行の「地震・火山月報 (防災編)」の「日本及びその周辺で発生した主な地震」および「世界の主な地震」によると、伊豆・小笠原海溝沿いの地震は1999年までは年間2-4個がほぼ半年以内の間隔で起こっていたが、2000年から2002年の夏までは年間5個以上と活発な地震活動があり、その後沈静化し、15ヶ月近く経過した2003年11月に2つの地震が起こったのみで2004年8月まで地震が起こっていなかった。中越地震と紀伊半島沖地震はこの異常な静穏期を経て起こった。一方、日本海溝沿いの地震は、伊豆・マリアナ海溝の静穏期前には年間2から4個であったのが、2002年以後には年間10個以上と倍増している。

三重会合点よりも南方では、伊豆・マリアナ海溝および南海トラフ・琉球海溝の二列に沿って太平洋プレート運動に相当する沈み込みが起こっており、フィリピン海プレートは東縁で沈み込まれ、西縁で沈み込んでいる。フィリピン海プレート南端のモルッカ海峡では、太平洋プレート運動分が沈み込んでいるので、太平洋プレートとフィリピン海プレートの運動は一致しているが、台湾と南部フォッサマグナにおける衝突によって西縁の沈み込みが妨げられ、フィリピン海プレートがモルッカ海峡の東方で太平洋プレート上に釘付けにされ、そこを要 (Pivot) として回転しているように運動している。1999年9月の台湾地震M7.7がフィリピン海プレート東西両縁での活発な地震の契機となったが、西縁の地震は四国以南に限られ、四国よりも北東の中部日本は固着されたまま歪みを蓄えていたことになる。2002年8月以後はフィリピン海プレート東西縁で極端に少ない地震しか起こらない休止期となっていたが、2004年5月19

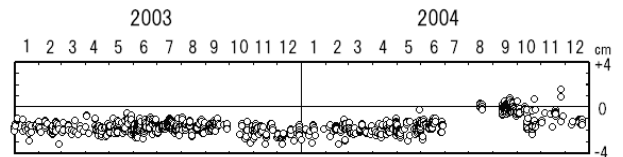


図3. 静岡大学地殻活動観測所と草薙断層を挟んだ谷津山間の光波測距記録。2004年春から伸長していたが、10月15日から短縮に転じ、中越地震後に最も短縮した。

日台湾M6.1、7月22日沖繩本島近海M6.1、8月21日与那国島近海M5.6と西縁で連続的に地震が起こり、フィリピン海プレート北縁部と中部日本における歪みが増大していた。

2001年1月4日M5.6の地震以来沈静化していた中越地方における地震活動が新聞に報じられたのは2004年9月7日の最大M4.3の3つの地震からであり、その前の9月5・6日には紀伊半島沖M6.4・M7.4、直前の9月7日に東海道沖M6.4がフィリピン海プレート内で起き、中越地方で9月8日にM3.5、東海道沖でM6.5が起こっている。中越地方の活動が峠を越した11月9日には東海道沖M5.7が起こっており、フィリピン海プレート北部と中部日本の歪が今回の地震に関係していると言えよう。プレート運動と中部日本の歪みの関係は、1999年9月の台湾の地震後の短縮 (新妻, 2002)、2004年春から夏にかけての伸長の後に起こった10月15日からの短縮として静岡大学地殻活動観測所の光波測距によって捉えられている (図3)。

中越地域は三重の離脱面の上に載り、日本列島のテクトニクスを象徴するような地質構造を有しているが、この背景を配慮した測線を設け、フィリピン海プレートの東西両縁および日本海溝における地震活動から予測される日本列島の歪状態と対応させて褶曲構造の変動を監視できれば、この地域における直下型地震についての予報も可能になるであろう。

本稿を作成するに当たり、地質学会の斎藤靖二会長をはじめ水野篤行・初倉克幹・宇田進一の皆様、静岡大学地球科学教室の皆様にご意見をいただいた。プーゲ重力異常起伏図については北海道大学の山本明彦、アジア航測(株)の千葉達朗・鈴木雄介の皆様にお世話になった。

### 文献

- 千葉達朗・鈴木雄介 (2004) 赤色立体地図-新しい地形表現手法-。応用測量論文集, 15, 81-88.
- 向山 栄 (2004) 平成16年新潟県中越地震によって生じた河道閉塞と天然ダム。日本地質学会ニュース誌, 7 (11), 表紙.
- Niitsuma N. (1996) The trench-trench-trench type triple junction and tectonic evolution of Japan. Geoscience Reports of Shizuoka University, 21, 21-28.
- 新妻信明 (2002) 光波測距による大気境界層変動と草薙断層・麻機断層の活動監視。静岡大地球科学研報, 29, 77-93.
- Niitsuma, N. (2004III) Japan Trench and tectonics of the Japanese Island Arcs. The Island Arc, 13, 306-317.
- 日本地質学会地質基準委員会編著 (2001) 地質基準, 共立出版, 東京, 190p.
- 日本地質学会地質基準委員会編著 (2003) 地質学調査の基本, 共立出版, 東京, 220p.
- 山本明彦・志知龍一編 (2004) 日本列島重力アトラス-西南日本および中央日本- (CD-ROM付), 東京大学出版会, 東京, 129p.