

超巨大地震の地質学

人類と自然災害

日本列島は、海洋プレート（太平洋プレート）の沈み込みに伴ってできた造山帯である。海溝から沈み込んだ海洋プレートは大量の水をマントル供給し、その水はマントルの部分溶融を引き起こし火成活動の原因となる。火成活動は地殻を厚くしたり、地殻や最上部マントルの熱構造を改変することによって、沈み込み型造山運動の主要原因となる。およそ 500 万～350 万年前から日本列島には東西方向の強い圧縮応力が働くようになり、その結果、褶曲や逆断層を伴う短縮変形が生じるようになった（図 1）。このような時間スケールでみれば、日本の歴史上おそらく最大規模（モーメント・マグニチュード M_w 9.0）となった 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋岸沖地震すらも、天変地異ではなくてごく普通の自然現象である。日本列島は地震をはじめとする自然災害のリスクが特に高い地域であるにもかかわらず、数千年以上にわたり、あえてわれわれはここに居を構えてきた。その理由は、日本列島の自然条件に由来する高い農業生産性と豊富な海産資源にある。超巨大地震に代表される地殻変動の活潑さや島弧火山活動は土壌の頻繁な更新をもたらし、それが高い生物一次生産を長期にわたって支えるからである。人類と自然災害との関わりは、自然科学だけでは解決できない難しい、しかし学問的な面白さに富んだ問題であり、今後我々の学科・専攻が積極的に取り組まねばならない課題であろう。ここでは地質学的な時間スケールで今回の地震を捉えるとどのような特徴が見えるかについて紹介しよう。

地質学的観測と測地学的観測の不一致

東北日本弧の背弧側における鮮新世以降の総短縮量は、褶曲や断層運動によって変形した地質構造を、変形前の状態に引き戻すことによって見積もることができる（図 1）。この方法で求めた総短縮量は 4～15 km 程度である（図 1）。前弧側の変形量はもっと少なく、たかだか数 km 程度である。この短縮変形が始まった年代は 500 万～350 万年前と推定されているので、東北日本弧の水平短縮速度は 3～5 mm/年程度ないし

それ以下となる。一方、GPSによって観測された東北日本陸域における過去約15年間の水平短縮速度は30~50 mm/年に達しており、地学的な時間スケールで蓄積する水平短縮速度よりおよそ1桁大きい。地学的観測と測地学的観測との不一致は、垂直変位速度についても存在する。過去100年間の潮位観測によって、東北日本から北海道の太平洋岸では最大10 mm/年にも達する急速な沈降が起こっているが(図2)、一方ここには最終間氷期(約12万年前)の海成段丘が海拔10~50 mの高さに発達しているため、長時間スケールで見るとほぼ不動ないしはゆっくり隆起している(0.1~0.4 mm/年)。

超巨大地震を伴う地殻歪みの蓄積と解放の過程

地質学的時間スケールで観測した歪みは非弾性変形であり、換言すれば後戻りせず蓄積する永久変形である。前述の結果は、島弧に蓄積される非弾性歪みがきわめて小さく、測地学的に観測している水平および垂直方向の大きな歪みの大部分が弾性歪みであることを示している。弾性歪みの蓄積は、プレート境界面の固着に伴って生じる現象である。したがって、プレート境界面上での剪断応力が固着面の強度を超えると、すべりが起こって周囲に蓄積されていた弾性歪みが一挙に解放されるはずである。東北日本太平洋岸の急速な沈降は、沈み込む太平洋プレートが固着面を介して上盤側のプレートを引きずり込むことによって起こるから、固着が剥がれれば急速な隆起が起こりそれまで沈降した分が回復するはずである。

ところが不思議なことに、過去100年間に日本海溝沿いではMw 7~8の地震がいくつか発生しているが、この規模の地震では水平歪みと沈降運動の解消は起こっていない(図2)。これは、幅300 kmに及ぶ幅広い固着領域の中であって、これらMw 7~8級地震の破壊域はほんの小さなパッチに過ぎず、そのため沈み込み帯に蓄積している弾性歪みを有効に解消できないということを意味している。したがって、過去100年間以上にわたって蓄積された弾性歪みを解消させる地震は、プレート境界面の固着を深部まで完全に断ち切る広い破壊面を有するもっと大規模なものである必要がある。このような超巨大歪み解放地震が過去に起こったことを確かめるためには、

地質学的証拠が必要である。北海道の十勝沿岸では、過去 2500～3000 年間に 5 回の巨大津波が発生していることが表層の堆積物中に記録されている。仙台平野でも同様な巨大津波の証拠が発見されている。

東北地方太平洋岸沖地震と余効変動

3 月 11 日に起こった東北地方太平洋岸沖地震は、まさに過去数百年～千年にわたって蓄積された弾性歪みを解消する超巨大地震であった。弾性歪みが完全に解消されたことを示す良い証拠は、地震後約一月後に福島県いわきで起こった正断層地震である（図 3）。これは、地殻に働く応力が東西圧縮から一時的に東西引張に転じたことを示している。

今回の地震が起こって分かった重要な発見の一つは、プレート境界面の固着領域のうち最深部（深度約 50～100 km）が割れ残り、ここでの固着が今後十年ないしそれ以上にわたって起こるゆっくりしたすべり（といってもプレート運動速度より遙かに速い）によって解消されるらしいということである。すべり残った深部プレート境界面がすべると、太平洋岸では隆起が起これ、その結果、地震間の沈降と地震に伴う沈降との両方が完全にキャンセルされると予想される。

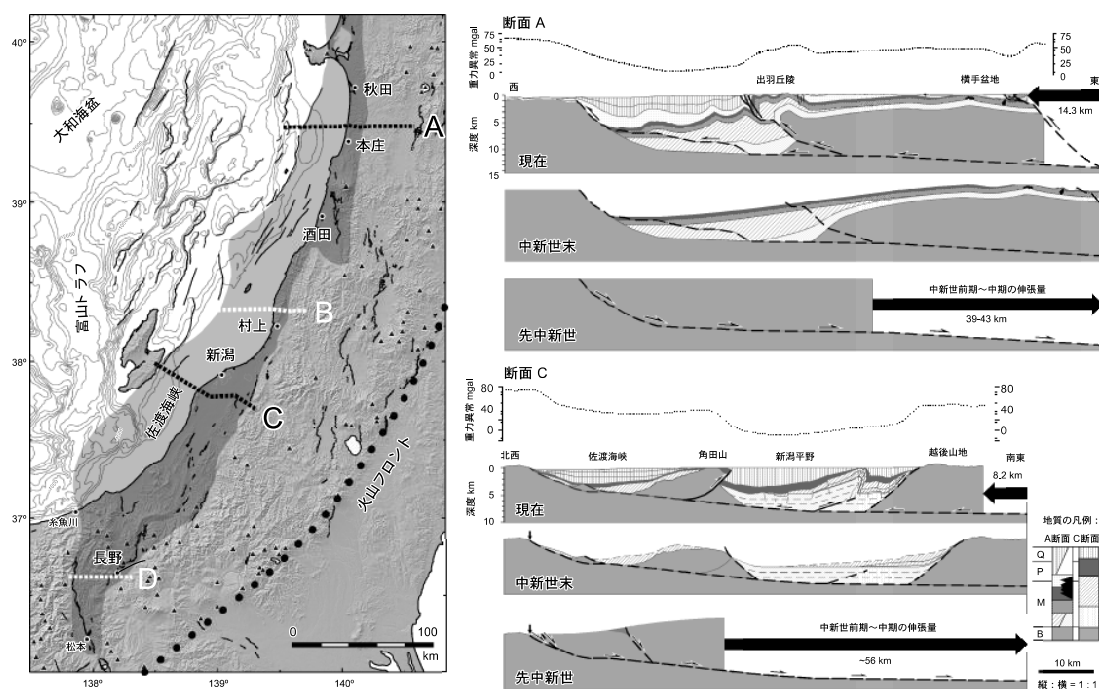


図1 [左図] 東北日本背弧側における強変形領域（影の部分）とそれを横切る地質構造断面（A~D）の位置。[右図] 東北日本背弧側の強変形領域を横切る地質構造断面。A, Cの2断面のみを示す。各図は上から、ブーゲ異常、現在の地質構造、中新世中期の地質構造（鮮新世~現在までに起こった短縮変形を引き戻した状態）、およびリフティング前の地質構造（さらに、中新世前期~中期に起こった引張変形を引き戻した状態）。（池田・岡田、「科学」2011年10月号, 印刷中）

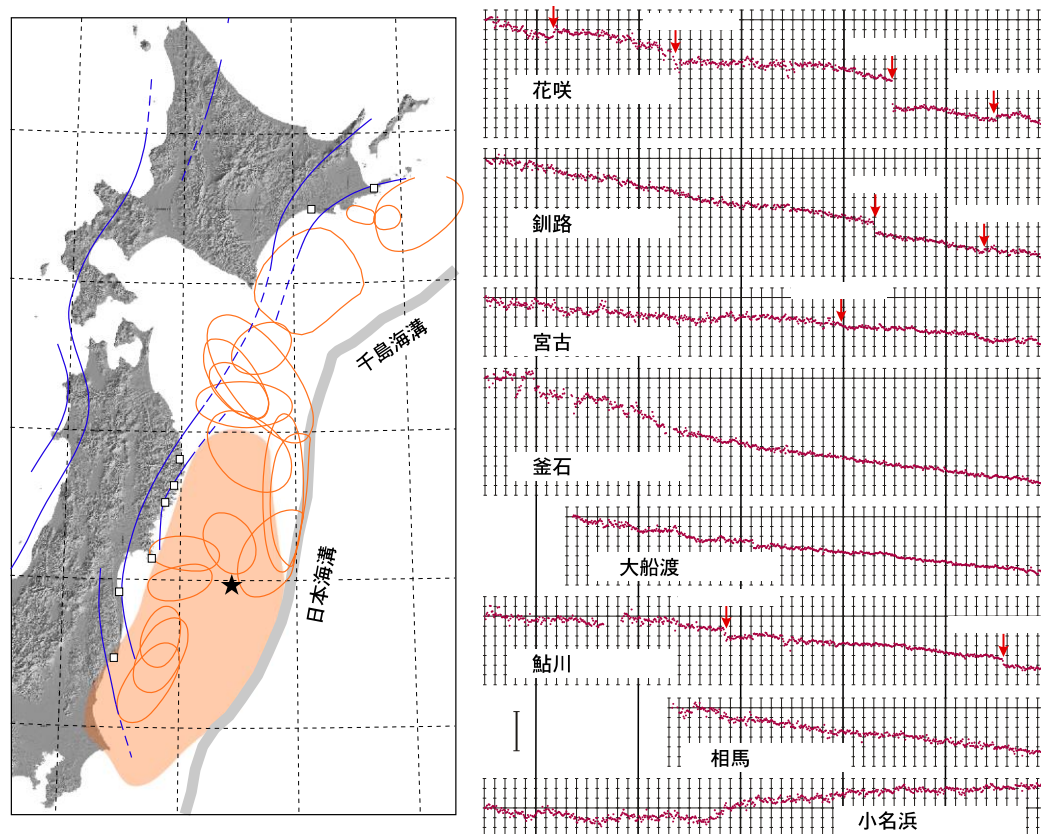


図2 [左図] 東北日本弧における最近の垂直変動とプレート境界地震の震源域。青色の等値線は、1955-1981年の期間における験潮観測から求めた隆起速度(単位:mm/yr) (Kato, 1983, による)。橙色線で囲んだ領域は、1896年以降に起こったMw 7.0以上の地震の震源域。橙色で塗色した領域は2011年東北地方太平洋沖地震の震源域。

[右図] 太平洋岸における過去55年間の上下変動(国土地理院, 2010による)。各験潮所の位置は左図参照。赤矢印は各験潮所の近くで起こった Mw 7.0以上のプレート境界地震(1993年根室沖地震と1994年釧路沖地震を除く)。(池田・岡田, 「科学」2011年10月号, 印刷中)



図3 〔上〕 2011年4月11日福島県東部地震（気象庁マグニチュード7.0）に伴って活動した正断層。いわき市田人町黒田。〔下〕 上の写真の右手延長部。わずかな左ずれ成分がある。