

## 地震発生のメカニズム

東北大学理学部

教授 大竹政和

### 1.1 はじめに

地震は、地下の岩盤中に急激な運動が起こり、その衝撃が地震波として放射される現象である。地震波は地球の内部を通過して地表まで到着し、地盤やその上の構造物を揺り動かす。この「急激な運動」は地下の岩盤の断層破壊によってもたらされる。また、断層破壊を引き起こす力はプレートの相対運動に起因する。

このような地震像は、くいちがいの弾性論とプレートテクトニクス理論を基盤に1960年代に確立された。その後、断層破壊の定量的な研究が進み、現在では、強震動の予測等の工学的研究にも盛んに活用されている。本稿では、現代の地震学が描き出す地震像をふまえつつ、地震発生メカニズムに関する基本的な事項を整理、概観する。

### 2 断層破壊の性質

地震の本質が地下の断層破壊(脆性せん断破壊)であることは、現在では、観測からも理論からも十分に確かめられている。断層破壊というのは、破壊面が接触しあったままずれ動くタイプの破壊である。破壊の結果、地下の岩盤には破壊面を境にくいちがいが生ずる。このくいちがいを地震断層

と呼ぶ。

地震断層面は通常長方形で近似的に表わされるが、その幅は長さの2分の1程度となることが多い。断層の長さ、くいちがいの量はともに、地震の規模に対応して大きな地震ほど大きくなる。今世紀最大の地震として知られる1960年のチリ地震(マグニチュード9.5)は、断層長800km、くいちがいの量24mという巨大なものであった。浅い大きな地震では、破壊面が地表まで達して地面にくいちがいが現われる。この地表のくいちがいを指して地震断層と呼ぶこともある。断層面が地表に現れない場合でも、地震波の詳しい解析から地震断層の長さ、幅、くいちがいの量方向といった断層パラメータを知ることができる。

地震断層は、全面にわたって一挙にずれ動くわけではない。破壊は断層上のある1点で始まり、次々に広がって行って最終的に断層面を形成する。破壊が広がるスピードはふつう3km/秒前後で、チリ地震では破壊が終了するまでに数分を要した。大きな地震ほど揺れが長く続くのは、破壊が終わるまでの長い時間にわたって地震波が放射されるためである。

地震の震源位置は、ふつう緯度、経度、深さで表わされる。このひとつの点で代表される「震源」は、地震断層の破壊が始まった位置を示している。地震波の源は、いわゆる震源ではなく、地震断層全体であることを忘れてはならない。地震波の源である地震断層が覆う領域を「震源域」と呼ぶ。

今年7月の北海道南西沖地震の場合には、震源、すなわち断層破壊の開始点は寿都の西方沖であった。破壊は南へ向かって進行し、奥尻島の付近を通過してさらに南方の江差沖まで達した。南北約 150 kmの地震断層が 1 分弱かかって生成したものと推定される。したがって、震源から 80 kmも離れた奥尻島で大災害となったのも不思議ではない。奥尻島は震源域の中に位置し、島民にとっては、この地震はまさに直下型の大地震だったわけである。

### 3 プレートの運動

地球表面の厚さ約 100 kmの部分は、リソスフェア(岩石圏)と呼ばれ、堅硬な岩石で構成されている。その下方のアセノスフェア(岩流圏)は、これとは対照的に、部分的に熔融した岩石を含む流動しやすい層である。リソスフェアは 10 数枚の大岩盤に分かれて地球の表面を隙間なく敷き詰めており、この大岩盤をプレートと呼ぶ。

プレートは、大洋底を貫く中央海嶺で下から湧き上がって来るマントル物質が冷え固まって誕生し、アセノスフェアの上を水平に移動し、海溝部で陸のプ

レートの下に沈み込んでその一生を終わる。プレートの境界では、隣り合うプレート同士の押し合いへし合いの結果、大規模な地殻変動や地震、火山などの活動が起きている。地震を引き起こす原因はこのプレートの相対運動である。一方、プレートの内部は、地殻活動がきわめて微弱な安定地域となっている。

図1に、日本付近のプレートの配置を示す。日本列島には、東から太平洋プレートが、また、東南方向からフィリピン海プレートが押し寄せ、それぞれ日本の北東部、南西部の下に沈み込んでいる。そのために、世界でもまれな活発かつ複雑な地殻変動がもたらされている。日本列島そのものは、西半分はユーラシアプレート、東半分は北アメリカプレートに属すると考えられている。両プレートの境界は、北海道西方から日本海の東縁に沿って南下し、新潟県の西部で上陸して静岡付近に抜けるとされている。この陸上部分は、古くから糸魚川—静岡線として知られている大構造線である。

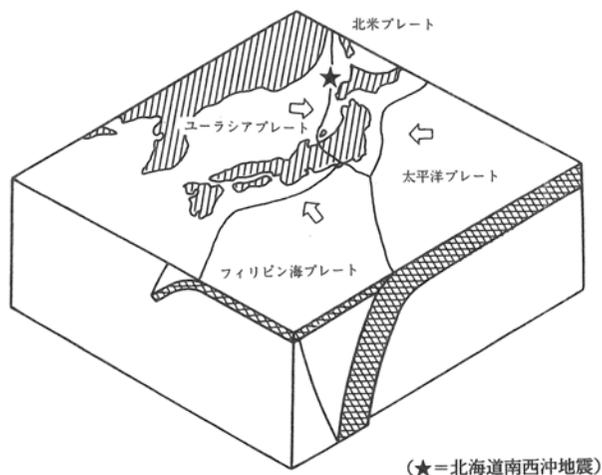


図1 日本付近のプレートの配置

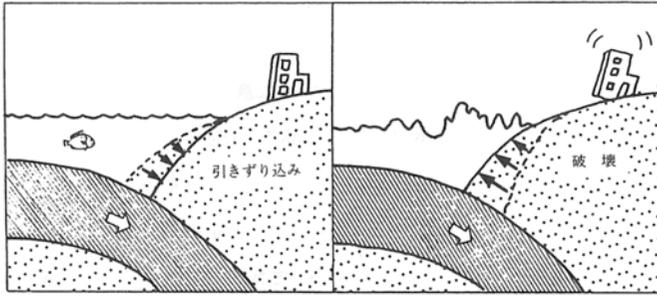


図2 海溝型地震の発生のメカニズム

日本海の東縁部では、ユーラシアプレートが東に向かって進み、東北日本を乗せた北アメリカプレートの下に沈み込みを始めつつあると考えられている。この説が登場したのは10年ほど前のことであるが、その翌年には日本海中部地震(1983年、マグニチュード7.7)が発生し、この考えが裏付けられた。今回の北海道南西沖地震(マグニチュード7.8)もまた、このプレート境界に起きた大地震であった。

#### 4 海溝型の大地震

海のプレートが陸のプレートの下に沈み込む海溝沿いでは、両者の境界がずれ動いて海溝型の大地震を引き起こす。図2はそのメカニズムを模式的に示したものである。普段は、プレートの境界が間着され、海のプレートの沈み込みに従って陸のプレートも引きずり込まれて行く。これにともなって海岸線付近では経年的な地盤の沈降が進行する。陸のプレートには歪が蓄えられ、折があればもとの形に戻ろうと

する。

沈み込みがある程度まで進むと、ついに耐えきれなくなってプレート境界が破壊し、陸のプレートが跳ね上がる。これがいわゆる海溝型の大地震の発生のメカニズムである。断層面が海底まで突き抜ける

大きな地震では、海底に上下方向のくいちがいが生じ、海水の移動によって津波が発生する。

地震後は、プレート境界が回着され再び

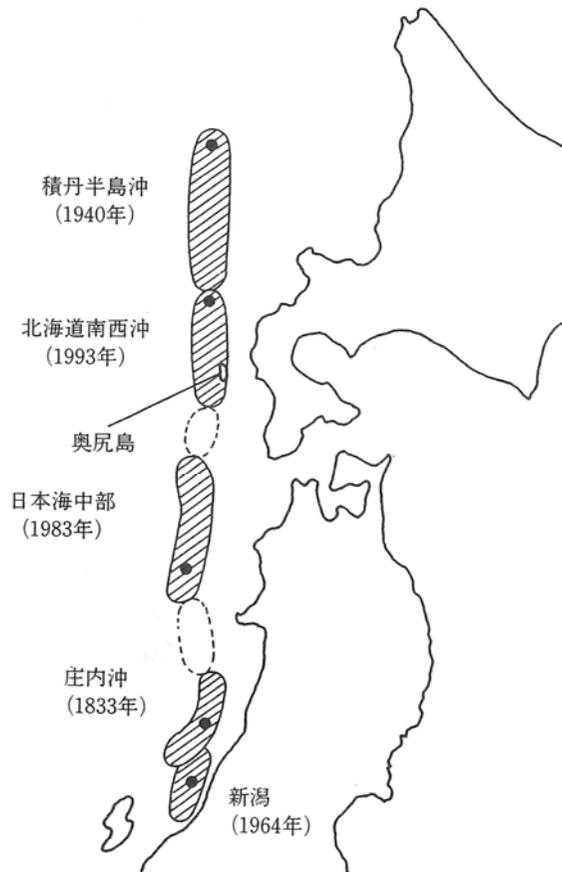


図3 日本海東縁部の地震空白域(破線)

引きずり込みが始まる。こうして、プレート境界では同じ場所で繰り返し海溝型の大地震が発生する。日本の太平洋側では、繰り返し間隔は100~200年程度である。幸いなことに、個々の地震で破壊される領域は、長大なプレート境界の一部の区間に限られる。日本付近では、1個の地震で破壊される区間は高々300 km程度であり、マグニチュード8.5を超えるような超巨大な地震は起きていない。

プレートが一斉に押し寄せてきているのであれば、最近まだ破壊されていない区間も、近い将来破壊を免れないはずである。最近の大地震の震源域から取り残された「地震空白域」は、将来の地震の最有力候補地と考えなければならない。図3にその一例を示す。

## 5 内陸で起きる地震

危険なのは海溝型の地震だけではない。日本の内陸部でも、大小の地震が繰り返し発生している。これらの内陸地震も、その原因はプレートの相対運動に帰着される。海のプレートは沈み込みながら陸のプレートを水平方向に圧迫し、この力によって地殻が破壊するのが内陸の地震である。

破壊は、当然のことながら地殻の弱いところを選んで起きる。その代表的なものが、最近の地質時代にずれ動いた証拠のある断層、すなわち「活断層」である。地震を起こした活断層は時間の経過とともに固着して行くが、周囲と較べて破壊しやすい弱線として残る。従って、活断層ではプレート境界と同じように繰り返し地震が発生し、その度にずれが積算されて行く。実際は、こうし



図4 日本の活断層分布

でずれ動いて行った結果が地形のくいちがいとして残り、活断層として認識されるわけである。

活断層というとか何かいつもずるずるとずれ動いているような印象を受けるが、実際は地震の時だけ間欠的にずれ動くものである。ただ、その間隔は海溝型の地震よりかなり長く、もっとも活動度の高い活断層でも地震の繰り返し間隔は数 100 年から 1,000 年の程度である。

図 4 は、日本の活断層の分布図である。中部地方から近畿地方にかけて多数の活断層が分布し、とくに近畿地方の三角形の領域に集中している。これは、関西方面では地震がかなり少ないことと矛盾するように見える。しかし、16 世紀頃までは京都、大阪付近で被害地震が多発しており、地震活動には静穏期、活動期の繰り返しが認められる。

## 6 おわりに

近代地震学は、地震はプレートの相対運動に起因する断層破壊現象であることを明らかにした。しかし、これで地震発生メカニズムの全てが解明されたわけではない。

断層破壊はどのような過程を経て準備され、何が破壊発生の瞬間をきめるのか?地震の前兆現象はどのようなメカニズムで現われるのか?こうした基本的な問題も依然として完全な解決を見ていない。大地震の準備・発生・終了の全過程を明らかにするという究極の課題に向かって、たゆみない研究がいまも続けられている。

