

2016 年 9 月 10 日 (土)  
富山県民会館 611 号室  
14:00~15:00

「沈み込むプレートと日本海の形成」

海洋研究開発機構主任研究員  
大林 政行 氏



## 1. 日本海形成の歴史

日本海の海底には、日本海盆と大和海盆という海の盆地や大和堆と呼ばれる山脈のような地形がみられるなど複雑な形をしている。日本列島はアジア大陸東縁にあった約 3000 万年前から 1500 万年前までの間に大陸から引き剥がされ形成した。具体的には 3000 万年前に断裂によって淡水湖ができ、次第にそれが広がって海水が入り込み島となり、2000 万~1500 万年前の 500 万年間で日本海盆と大和海盆の急激な拡大とともに東方へ移動し、アジア大陸の間に日本海が生まれた。日本海は比較的新しい海と言える。

古地磁気学により日本海盆と大和海盆が開いたとき、東日本は反時計回り、西日本は時計回りで回転したと考えられている。古地磁気学とは、火山が噴火して固まるとき、磁化する鉱物を含んだ岩石が、その当時の磁場の状態を保存して固まる性質を利用し、古い時代に起きたことを調べる学問である。火山岩の分析から、2000 万年以上前の火山岩が示す磁北は東日本では西へ 40~50 度傾き、西日本では東へ 50~60 度傾いたことが明らかになり、アジア大陸の縁にあった日本列島は、観音開きの扉が回るように動いて現在の形になったと考えられている。糸魚川—静岡構造線（フォッサマグナ）は、回転したときの名残とされる。

海と陸では地殻の厚さが全く異なり、海の地殻は平均約 6km だが、陸は 30km 以上の地殻を持つ。日本海を見ると、海洋地殻を持つ、れっきとした海であることが分かる。海洋地殻の大部分は中央海嶺での噴火で形成される。その他に火山弧（海洋プレートが沈み込む海溝の大陸側にできる海溝に平行に弧状の火山、日本列島もその一つ）のさらに大陸側の背弧と呼ばれる地域で海洋底拡大することで形成される。日本海は背弧の海洋底拡大によって形成され、活動が終了した「背弧海盆」に分類される。

日本列島の島弧火山はプレートからの脱水が原因である。海水を含んだ太平洋プレートは沈み込んだ後、高温高圧のため、地下 50~80km で水を放出する。海洋プレートからプレートの上のマントルへ放出された水は岩石のカンラン岩強度を低下させたり、融点を下げてマグマを発生させたりする。一方、背弧拡大による背弧海盆の形成についてはよく分かっていない。大陸を引き裂くような激しい火成活動がなぜ日本海に起こったのかその原因はまだ明らかでない。しかし、これまでの研究から日本海拡大時に島弧火山に比べもっと深い数 100km の深さからの上昇流があったと考えられている。

## 2. プレートテクトニクス

地球上で地震の発生場所を見ると、満遍なく起きているわけではなく、線状に分布している。線状の地震帯に囲まれた、地震がほとんど起きない地域は一枚の硬い板（プレート）

として振舞っている。地球表面上の主な変動はそれら複数のプレートが相互に接する境界で起きるとい考えをプレートテクトニクスという。中央海嶺のようにプレートが生まれる場所では 30km より浅い地震しか起きておらず、日本のようにプレート沈み込み帯がある場所では数 100km までの深い地震が起きている。日本列島は太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートが衝突する場所にある。

海洋底の年代を見ると、海洋地殻が生まれる海嶺から離れるにつれてその年代は古くなっている。古地磁気学では、磁場の南北が逆転を繰り返していた（最も新しい逆転は 78 万年前）ことが分かっている。海洋地殻の岩石の磁場は中央海嶺と平行に正帯磁（現在の地球磁場方向に帯磁）と逆帯磁（現在の地球磁場と逆方向に帯磁）を繰り返す規則的な帯状の構造をしていることが観測されている。海洋底の磁場を測定し過去磁場逆転の歴史と比較することで、海洋プレートがどの方向にどれぐらいの速度で動いたかが分かる。そのような方法で推定される太平洋プレートの千万年スケールの移動速度は、現在 GPS で測定される一年スケールの移動速度とほぼ一致し、プレートの動きは驚くほどに安定していることが分かる。日本付近では太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込んでいる。これらの海洋プレートは陸のプレートを地下へ引きずり込みながら沈み込む。陸のプレートが引きずりに耐えられなくなり、急激に元に戻ろうとすることで平成 23 年東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界型地震が起きる。プレートがもっと深く沈み込むとプレート間の地震は起きなくなり、沈み込むプレート内で地震が起きようになる。内陸型地震もプレート内地震でプレート同士が押し合うため、プレートの内部に力が加わって発生する地震である。このような内陸大地震の繰り返しは山地や盆地を形成につながる。プレート境界型巨大地震の繰り返しはプレートの沈み込みを象徴するが、沈み込んだプレートがどこへ行くのかという疑問が生まれる。

### 3. 地震波トモグラフィーとは

地球の内部は、トモグラフィー (tomography) という手法を使って調べることができる。tomography はギリシャ語の「スライス、断面」という意味の「tomos」と「イメージ」という意味の「graph」からなる合成語で、人体の断面を撮るときに使われる CT スキャンの CT は、computed tomography の略である。CT スキャンは 1970 年代にイギリスの Godfrey Hounsfield と アメリカの Allen Cormack によって開発され、両者は 1979 年にノーベル医学生理学賞を受賞している。

CT スキャンでは、人体をその円周上のあらゆる角度から X 線を照射して撮影し、コンピューターを使って内部断面をイメージ化する。人体は X 線を使って調べることができるが、地球の内部は X 線を通さない。その代わりに地震波を使って調べる。地震波は地震が起きたときに地球の内部を伝播する波で、縦波の P 波と横波の S 波は地球内部の深いところまで伝播する。これを使って地球の内部をイメージするのが、「地震波トモグラフィー」である。ある地震が起こると、同じ震央距離の観測点にもかかわらず、異なる地震波到達時間が観測される。例えば硫黄島付近で発生した地震を日本で観測すると、西日本と東日本では大きな違いがあり、東日本では平均到達時間より早く、西日本では遅く到着している。世界中の観測点で観測された世界中の地震の地震波到達時間のズレ（異常）をコンピューターで解析し地球内部の地震伝搬波速度 3 次元分布を描く、これが地震波トモグラフ

ィーである。地震波速度は、岩石が硬ければ速く軟らかければ遅くなり、冷たければ速く熱ければ遅くなる。マントルは、低温のものは重いので下降し、逆に高温のものは軽いので上昇して、対流運動していると考えられている。従って、地震波速度が速いところではマントルが下降し遅いところでは上昇していると予測することができる。地球全体のトモグラフィではフレンチ・ポリネシア（南太平洋の中央）とアフリカの対蹠的な位置で地震波低速異常、環太平洋で高速異常が見られるので、南太平洋とアフリカの下でマントルの上昇流、環太平洋で下降流という大局的なマントル対流のパターンがあることが知られている（図 1）。沈み込むプレートは地表で冷やされた後、高温のマントルへと沈み込むので、周囲に比べて低温で、従って地震波速度の高速異常として観測される。前述の硫黄島付近の地震の例では震源から東日本へ伝わる地震波が沈み込んだ太平洋プレートを伝わるので早く到着したのである。

CT スキャンでは制御された X 線源とセンサーがあるため偏りのないきれいな画像が得られる。しかし地震波トモグラフィでは、地震の発生はプレート境界付近に限られ、また観測地点の多くが陸地、しかも先進国にあり、それらの分布が非常に偏っているため、はっきりした画像が得られる解像できていない場所とそうでない場所が出てきてしまう。解像できていない場所を調べるためには集中観測が必要となる。

私たちのグループでは、日本海溝から沈み込んだプレートの詳細を調べるために、日本、中国、アメリカで共同チームを組んで、2009 年 9 月から 2011 年 8 月の 2 年間、中国東北部（東経 116-134°、北緯 42-48°）の東西方向 1400km、南北方向 600km を超える広範囲に 120 台の地震計を 100km 以下の間隔で設置するという大規模な臨時観測を行った。

#### 4. 日本海溝から沈み込んだ海洋プレート（スラブ）の行方

地震波トモグラフィで地震波高速異常としてイメージされる日本海溝から沈み込んだ太平洋スラブは、約 30 度の傾斜でほぼ直線状に西へ沈み込んでいるが、約 400km を超えると傾斜が緩くなり始め、深さ 660km あたりで水平に横たわり、その先端は中国にまで達している（図 2 B）。なぜ深さ 660km で沈み込んだスラブが横たわるかは、マントルを構成している岩石の状態がこの深さで変化することに関係していると考えられている。マントルの 660km よりも浅い部分は上部マントル、深い部分は下部マントルと区別されているが、この深さで上部マントル物質はより密度の高く硬い下部マントル物質へ相変化する。この相変化は温度の低いスラブ内ではより深くで起こる。下部マントルが上部マントルに比べ、密度が高く硬いことに加え、スラブ内での相変化の遅れによってスラブ内に浮力が働くことが、スラブをさらに深く沈み込むのを妨げていると考えられる。

中国東北部での集中観測で得られたデータを使い水平に横たわるスラブの詳細が見えるようになった結果、スラブに「穴」\*が空いているところがあることが発見された。この「穴」を通る断面図（図 2 A）はその南の「穴」を通らない断面図と比べ、横たわるスラブが短くイメージされている。中国の東北部には火山があるが、それらはプレートの沈み込みに関連している日本列島の火山と違いプレートテクトニクスでは説明できず、その形成過程が議論的になっている。北朝鮮と中国の間にある長白山は、今も活発に噴いている火山であり、トモグラフィで見られた横たわるスラブの「穴」の東端に位置している。スラブの「穴」から長白山に向けてほぼ垂直に低速度異常が見られ、「穴」から長白山に向

けてマントルの上昇流があり、火山と関係があることが分かった。

#### 5. スラブの形状から日本海拡大を考える

中国東北部の火山を時系列で並べてみると、長白山は今から約 3000 年前に活発な噴火を始め、この辺りにある火山は、全て 3000 年前から千数百万年前ぐらいの間に噴火を始めている。日本海が拡大したのは、前兆現象を含めて 3000 万～1500 万年前なので、ちょうどこれらの火山が噴き始めた時代に相当している。日本海が形成され始めた時に、中国東北部も含む大規模な地域に上昇流があり、それらの現象を引き起こしたと考えられる。

スラブの「穴」がいかにか出来たかは議論の余地があるが、横たわるスラブの「穴」を通じた上昇流が日本海拡大の前兆を引き起こし、その後上昇流が激しくなるに伴い、日本海の拡大が開始させ、現在に至ったと推察する。

\*スラブの「穴」：低温の沈み込むスラブがないと思われる箇所、スラブの代わりに周囲のマントルで埋められている。

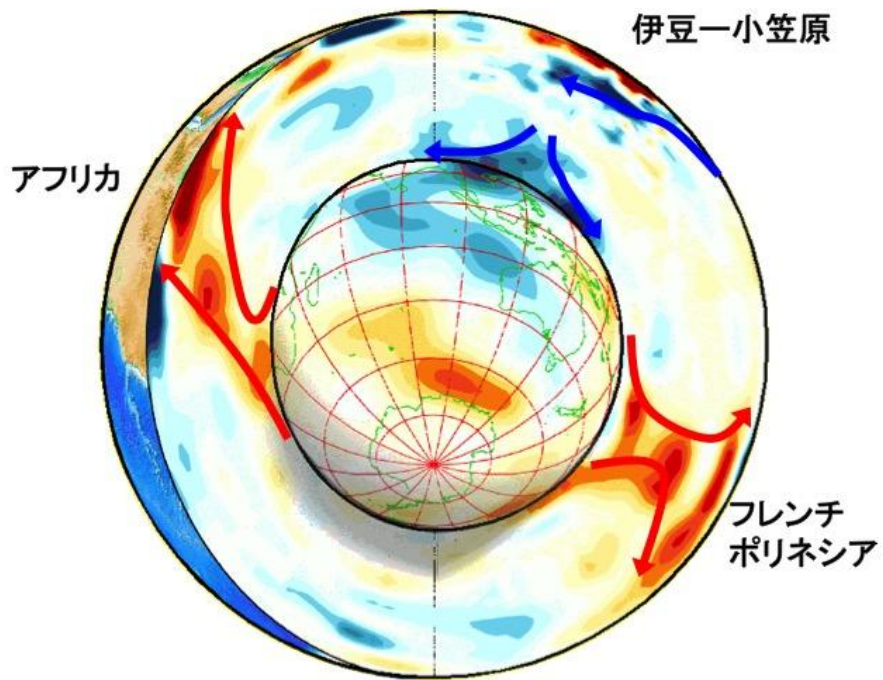


図 1 : マントルの 3 次元地震 P 波速度構造。青い部分は高速度異常、赤い部分は低速異常を示し、それぞれ低温異常、高温異常に対応していると考えられる。速度構造から予想されるマントルの流れを矢印で示してある。

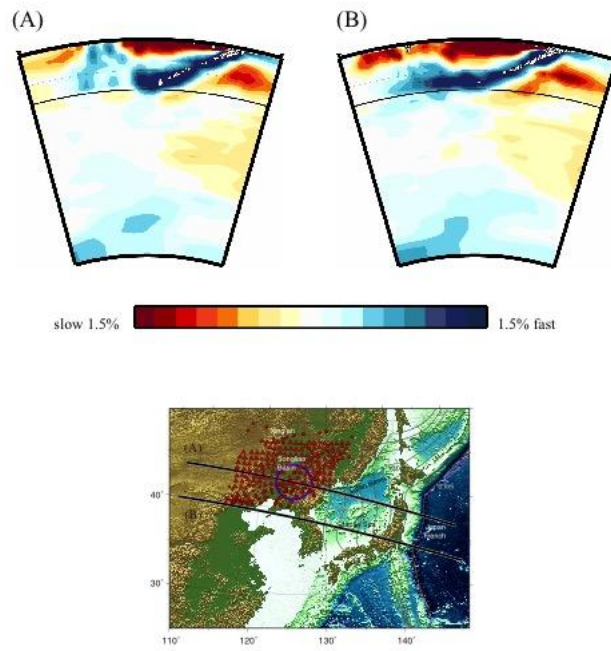


図 2 : 中国東北部での観測データを使って得られた地震 P 波速度異常の下段地図上の線に沿った断面。地図の赤い点は日中米共同による臨時観測点。青丸は横たわるスラブの「穴」のおおよその位置を示す。