

3 プレートテクトニクスとは何か

3.1 「科学革命」としてのプレートテクトニクス

3.1.1

3.2 プレートテクトニクス理論

- 地球の最表層は，10数枚のプレート (plate) と呼ばれる剛体の板でおわれている．
- 個々のプレートは独立に動き，プレート内では変形は起きない．
- プレートの境界は，発散境界，収束境界，横ずれ境界に分類され，それぞれ中央海嶺，海溝，トランスフォーム断層と呼ばれる．
- 新しいプレートは，発散境界で海洋底拡大によって生成される．
- プレートは沈み込みに依って消滅する．
- 地球の表面積は一定である．

3.3 プレートの幾何学

3.3.1 平坦地球 (flat Earth) のプレートテクトニクス

A-Bプレート，A-Cプレート間の相対速度が与えられている場合の B-C プレート間の相対速度は

$$C\mathbf{v}_B = C\mathbf{v}_A + A\mathbf{v}_B \quad (1)$$

で与えられる (ここで $A\mathbf{v}_B$ は，プレート A に対するプレート B の運動速度ベクトルを表す．)

3.3.2 回転ベクトルと回転極 (オイラーの定理)

実際の地球のプレートの運動速度を記述するのには，“球面上での剛体のいかなる移動も，球の中心を通るひとつの軸 (回転軸) の周りの回転として表される”というオイラーの定理を使う．この回転軸が地表とぶつかる点を“極”と呼ぶ (極は二つあることになる)．

オイラーの定理によれば，図1のようにプレート A がプレート B に対して剛体的に動くとき，各瞬間で回転軸が決まるはずである．その回転の速さを ω (単位は radian/year) とするとき，回転軸と平衡で，大きさが ω のベクトル

太文字の記号はベクトルを表す

$$\boldsymbol{\omega} = \omega \hat{\mathbf{k}} \quad (2)$$

を回転ベクトルと呼ぶ．ここで $\hat{\mathbf{k}}$ は，回転軸に平行な単位ベクトル (長さ 1 のベクトル) である．またベクトルの正負は，地球の中心から見て時計回りの回転を正に取ると約束する．

このように回転(速度)ベクトルが与えられると、プレート A の任意の点での運動速度は回転極からの角距離(θ)によって

$$v = \omega R \sin \theta \quad (3)$$

で与えられる(R は地球の半径)。ここで $R \sin \theta$ はその地点から回転軸に対しておろした垂線の長さであり、それを半径とする円周軌道を動くことになる。このように実際の地球のプレート運動の速度は、同じプレート上でも異なり、回転極から 90 度離れた地点の速度が最大となる。

回転ベクトルが与えられたときの相対速度の計算 海底の地磁気の縞模様などから回転ベクトルが決められたとして、実際のプレート運動の速さと向きを計算してみよう。

回転極 P の緯度・経度を (λ_P, ϕ_P) 、プレート運動を決めたい任意の点を X(λ_X, ϕ_X) と置くと、北極(N)を入れた三つの点は図2のような球面上の三角形を作る(図で、球面上の曲線は全て大円)。三つの内角を A, B, C, 各点間の角距離を a, b, c と図2のように置くと、球面三角法により、

球面三角法については、岩波「数学公式」II からのコピーを参照

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (\text{余弦定理}) \quad (4)$$

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (\text{正弦定理}) \quad (5)$$

の関係がある。

点 X でのプレートの運動速度と方向を知るには、X に於ける内角 C の値と、回転極からの角距離 a がわかればよい。

$$A = \phi_P - \phi_X$$

を考慮して、球面三角法の定理を使うと、

$$a = \cos^{-1}[\sin \lambda_X \sin \lambda_P + \cos \lambda_X \cos \lambda_P \cos(\phi_P - \phi_X)] \quad (6)$$

$$C = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \lambda_P \sin(\phi_P - \phi_X)}{\sin a} \right] \quad (7)$$

$\sin^{-1}$ は二つ値を取りうるので、正しい値を選ぶように注意を要する。

を得る。

これにより X での運動速度は (3) より

$$v = \omega R \sin a, \quad (8)$$

運動の方位(北極から測る)は

$$\beta = 90^\circ + C \quad (9)$$

で与えられる。

例 東北日本の太平洋沖北緯 40 度，東経 144 度での太平洋プレートの日本列島に対する運動(沈み込み)の速さを計算しよう．講義で配った表には，Eurasia-Pacific の回転ベクトル (Pacific に対する Eurasia の運動) が与えられている．日本列島がユーラシアプレート上にあるとして，太平洋プレートのユーラシアプレートに対する相対運動は，表で与えられたものの逆向きになるそれを考慮すると，それぞれのパラメータは (${}_A\omega_B = -{}_B\omega_A$) ．

$$\lambda_P = 61.1^\circ S, \quad \phi_P = 94.2^\circ E$$

$$\lambda_X = 40.0^\circ N, \quad \phi_X = 144.0^\circ E$$

$$\omega = 9.0 \times 10^{-7} \text{deg/y} = \frac{\pi}{180} \times 9.0 \times 10^{-7} \text{rad/y}$$

となり，(6)(7)(8)(9) に代入し，地球の半径を 6371km として，

$$a = 108.9^\circ$$

$$C = -157.0^\circ$$

$$v = \frac{\pi}{180} \times 9.0 \times 10^{-7} \times 6371 \times 10^5 \times \sin(108.9) \text{cm/y} = 9.5 \text{cm/y}$$

$$\beta = 90 - 157.0 = -67.0^\circ$$

を得る．これは太平洋プレートは東北日本の沖合で，西北西 (N67W) の方向に 9.5cm/y で動く (沈み込む) 事を表す．

回転ベクトルの合成 平面地球の時と同様に，A-B プレート，A-C プレート間の相対運動が与えられている場合，B-C プレート間の相対運動が決定できる．証明はしないが，幸い (1) と同様な形のベクトルの和

$${}_C\omega_B = {}_C\omega_A + {}_A\omega_B \quad (10)$$

で合成できる．従って三つのプレート間の相対運動回転極はひとつの大円上にのることになる (図 3) ．回転ベクトルのこの性質を使うことで，表に与えられただけのデータから，任意プレートに対する任意のプレートの回転ベクトルがわかることになり，全地球上でプレートの相対速度が計算できることとなる．

回転のこの性質は，プレート運動の瞬間速度のような，微小な回転のみに成り立つ．有限の回転には成り立たないので注意．

3.3.3 現在のプレート運動

3.4 プレート境界の幾何学

3.4.1 境界の時間的変遷

3.4.2 三重会合点 (triple junction) の安定・不安定性

3.5 プレートテクトニクスの成立

3.5.1 柔らかいマントルと硬いプレート

3.5.2 大陸移動説 (Wegener, 1935)

3.5.3 海洋底拡大説

3.5.4 地震断層の運動

3.5.5 境界の幾何学

3.5.6 トランスフォーム断層と地震

3.6 プレートテクトニクスの実証

3.6.1 海洋プレートの $t^{1/2}$ 法則

3.6.2 宇宙測地による実測

3.7 プレート運動の復元

参考文献

- 「新しい地球観」 上田誠也著 (岩波新書), 1971.
- 「科学革命の構造」 クーン, トーマス (みすず書房), 1971.