

リソスフェア内の水平粘性変化が表層テクトニクスに及ぼす影響

Effects of Lateral Viscosity Variations in the Lithosphere on the Surface Tectonics

吉田 晶樹[1], 本多 了[2]

Masaki Yoshida[1], Satoru Honda[2]

[1] 東大地震研, [2] 広大・理・地惑シ

[1] ERI, Univ. of Tokyo, [2] Dept. Earth Planet. Syst. Sci., Hiroshima Univ.

本研究では、リソスフェア内の水平粘性変化がプレート運動に与える影響について考察するため、幾つかのスラブモデルによって推定された負の浮力で駆動されるマンツルの瞬間流れを求める。軟らかいプレート境界を組み込むことで固いプレートは動く。計算から求めたプレート運動と観測によるそれを比較すると、プレート境界の粘性を低くするにつれて、下部マンツルにスラブがない密度モデルでは、高速・低速のプレートの相対速度の大きさは比較的良好に再現できる。一方、スラブがあるモデルでは、代表的なプレートの運動方向は再現できる。これは、下部マンツルのスラブによる密度荷重がプレートの運動方向に大きな影響を与えることを示唆する。

地球マンツルの粘性率は水平方向に複雑に変化するが、最も激しく変化する場所はプレートとプレートの境界であろう。現在まで考えられているマンツル対流の数値モデルでは、プレート境界のような粘性率が局所的に低くなる領域は、粘性率の高い剛体的なプレートの運動を説明するのに重要な要素であることを明らかにしている。本研究では、マンツル対流の数値計算によってプレートテクトニクスを再現するための基礎的研究として、リソスフェア内の水平粘性変化が、表層テクトニクスを特徴づける観測量である、プレート運動、ジオイド、プレート内応力に与える影響について考察する。そのために、3次元球殻モデルを用いて、幾つかのスラブモデルによって推定された負の浮力で駆動されるマンツルの流れを求め、その結果を解析する。

マンツルはプランツル数無限大で非圧縮の粘性流体と仮定する。その流れを支配する基礎方程式は、質量保存式、状態方程式を考慮した運動量保存式、構成方程式である。運動量保存式には慣性項が含まれないため、与えられた密度モデルと粘性率の分布のモデルを用いて、瞬間的なマンツルの流れを求めることが出来る。簡単のため、運動量保存式に含まれるべき自己重力の項は考慮しない。地表面と核-マンツル境界の境界条件は不透過・自由滑べりとする。我々が用いた密度モデルは、(A)地震の分布に基づくスラブモデル、及び、(B)上部マンツルに地震の分布、下部マンツルにスラブの沈み込みの歴史 [Ricard et al., 1993] に基づくモデルの二つを採用する。粘性率のモデルは、粘性率の高い(「固い」)リソスフェア(0km~100km)、上部マンツル(100km~670km)、下部マンツル(670km~2900km)の3層モデルとし、それらの相対粘性率はそれぞれ、1000:1:70とする。実際のプレート境界の位置に組み込まれた粘性率の低い(「軟らかい」)プレート境界(プレート縁辺)の粘性率は、代表的な12枚のプレート(リソスフェア)の1倍(つまりプレート境界なし)から0.0001倍程度まで人為的に変化させる。絶対粘性率の基準モデルとして、上部マンツルの粘性率を 1.0×10^{20} [Pa・s]としたものを採用する。

軟らかいプレート境界を組み込むことにより、スラブに引っ張られる個々のプレートは独自に「動く」ようになる。我々の計算から求められた、平均回転を差し引いた表面運動と観測によるプレート運動(no-net-rotation基準系)を比較すると、プレート境界の粘性を低くすることにより、(A)の密度モデルでは、高速のプレート(太平洋、オーストラリア、南米プレート)と低速のプレート(北アメリカ、南極プレート)同士の相対速度の大きさを比較的良好に再現できるが、運動方向は再現できない。一方、(B)のモデルでは、面積の大きい代表的なプレートの運動方向は明らかに再現できるが、太平洋プレートに対する他のプレートの相対速度は一般に大きくなる。これは、下部マンツルのスラブによる密度荷重がプレートの運動方向の決定に大きな影響を与えることを示唆する。我々が用いた絶対粘性率の基準モデルを用いて、プレート運動の二乗平均(root-mean-square)を観測のそれ(約4.5cm/yr)と比較すると、プレート境界の粘性率は、リソスフェアの1/1000程度(上部マンツルの粘性率)と見積もられる。しかし、この値は仮定した絶対粘性率や3層の相対粘性に依存するため、正確な見積もりは今後の課題である。また、粘性率の低いプレート境界は、ジオイド異常の高次の成分(次数4~6以上、波長6000km~9000km以上)に影響を与えることが分かった。プレート縁辺の応力値(deviatoric stress)は概ね100MPa以上のオーダーとなり、プレート内応力(主応力軸の水平成分)はプレートの運動方向に対して概ね伸長の応力場となる。実際のプレート内は圧縮の応力場が卓越しているが、これは、プレート運動の原動力としてスラブの負の浮力のみならず、海嶺の押しなどの力を考慮したモデルが必要であることを意味する。