

プレート・マントル対流結合系の数値シミュレーション：沈み込みの開始からスタグナントスラブの形成まで

Numerical modeling of the integrated plate-mantle system: The evolution of subducted slabs

中久喜 伴益 [1]; 多川 道雄 [2]; 亀山 真典 [3]

Tomoeki Nakakuki[1]; Michio Tagawa[2]; Masanori Kameyama[3]

[1] 広大・理・地球惑星; [2] 広大院・理・地球惑星; [3] 地球シミュレータセンター

[1] Dept Earth Planet Syst Sci, Hiroshima Univ; [2] Earth and Planetary Sci., Hiroshima Univ; [3] ESC/JAMSTEC

プレート運動の存在は地球のマントル対流系における大きな特徴である。また、マントルの冷却は大部分冷たいプレートの沈み込みによって起きるため、マントルの熱・物質構造を支配する重要な役割を持つと考えられる。従って、マントル対流の数値モデリングにおいて、プレートをマントル対流系のなかで実現することは欠かせないことであるが、レオロジーの複雑さや、1000km オーダーのスケールを持つマントル対流系の中で 1km オーダーのプレート境界を同時に扱わねばならないことから数値計算における困難が伴う。我々は粘性変化に対して安定で、局所的に解像度が上げられる 2次元マントル対流の数値計算法を開発した。

新しいコードを利用して2次元のプレート・マントル結合系のモデルを作成した。この計算では、速度の境界条件を与えることなしに、非対称的な構造を持つプレートの沈み込みを実現することを考える。プレート境界は、海洋地殻に含まれる水の潤滑によって作り出されると考えた。潤滑は降伏応力が過去の降伏の履歴に依存して決まるモデルによって表現した。一部のモデルでは、潤滑層の厚さは海洋地殻の厚さと同じとして計算を行い、海洋地殻が潤滑層として十分な役割を持つことを確かめた。我々のモデルでは、出来るだけ実験から推測されたレオロジーパラメータを用い、プレートの歪み速度、プレート沈み込み口での応力分布などを観測とよく一致させることが出来た。さらに、プレート境界の摩擦係数やプレートの強度をパラメータとして数値シミュレーションを行い、プレート運動に必要なメカニズムを考察する。その結果、プレート境界の摩擦係数が小さい(< 0.01)ことが最も重要な要素であることが分かった。このとき、プレート境界で働く上盤プレートの抵抗が Forsyth and Uyeda (1975) の continent resistance force と同程度となる。沈み込みが出来るか否かは、プレート本体の降伏応力にはあまり依存しなかった。これは、非対称構造を持つ沈み込みでは、プレートが緩やかに曲がりながら沈んで行き、対称沈み込みのようにプレート全厚に渡って壊れる必要がないからである。このことはプレート運動の安定性に大きな寄与をする。すなわち、非対称な沈み込みは長時間にわたって安定して起きることが可能である。

構築した沈み込みモデルを用いて、スラブとマントル遷移層の相互作用について数値シミュレーションを行い、スタグナントスラブの形成と崩落のメカニズムについて考察した。ここでは、我々のモデルの特長を生かして、沈み込むプレート、上盤プレート、プレート境界が全て自由に動くモデルで計算を行った。海溝が固定されている場合は、スラブが曲がったまま沈み込むのでどうしても急角度になってしまう。これは、スラブが塑性を持ち、一度作られた形状を記憶するからである。上盤プレートがプレートが自由に動ける場合には沈み込むスラブは自然に後退する。このとき、スラブの unbending により浅い角度のスラブが出来る。浅い角度のスラブは、スラブの曲げに必要な応力を小さくすると同時に、より広い面積で相境界の変形を引き起こす。このため、スラブは 660km 相境界の浮力で上向きに曲がる。一端上向きに曲がると、スラブはこれに沿って動き、湾曲したスタグナントスラブが形成される。我々のモデルでは、 -3 から -1 MPa/K でもスタグナントスラブが形成された。ただし、100%オリビンを仮定しているため、相境界の影響は実際より強めに見積もられている。また、スタグナントスラブが作られる時には、海溝の後退がより促進される。スタグナントスラブの粘性率が高い場合には、スタグナントスラブの崩落は見られなかった。崩落は相転移に伴う細粒化によって粘性率が低下する場合と下部マントルの粘性率が高い場合に起こった。これは、スラブとマントルの粘性コントラストが低い場合に不安定が成長しやすいという理論的解析と一致する。