

スタグナントスラブ形成と崩落に対するレオロジーの役割

Rheological mechanisms for the formation and avalanche of stagnant slabs

多川 道雄 [1]; 中久喜 伴益 [2]; 岩瀬 康行 [3]

Michio Tagawa[1]; Tomoeki Nakakuki[2]; Yasuyuki Iwase[3]

[1] 広大院・理・地球惑星; [2] 広大・理・地球惑星; [3] 防大・地球海洋

[1] Earth and Planetary Sci., Hiroshima Univ; [2] Dept Earth Planet Syst Sci, Hiroshima Univ; [3] Dept. Earth & Ocean Sci., NDA

スタグナントスラブ形成および崩落のメカニズムを明らかにするため、2次元の沈み込みモデルを用いた数値シミュレーションを行った。本研究では、スラブおよび下部マンツルのレオロジーに注目し、系統的なモデリングにより、その役割について明らかにすることを試みた。我々のモデルでは、プレート運動や沈み込みのプレート境界である海溝移動は速度境界条件を与えることなしに、マンツル対流系の部分として自然に起こる。これによりスタグナントスラブの進化とプレート運動の進化の関連性を明らかにした。我々のモデルでは、アーレニウス型の温度圧力依存性を持つ粘性率を用いた。他にレオロジーの物理過程として、降伏応力、下部マンツルの粘性率、冷たいスラブの相転移に伴う細粒化による粘性率の低下を考慮した。これまで報告された研究 (Kincaid and Olson, 1987; Christensen 1996; Christensen 1997; Zhong and Gurnis, 1997; Cizkova et al. 2002) と同様、海溝の後退はスタグナントスラブの形成に重大な影響を与える。一方、我々のシミュレーションでは、スラブが 660km 境界にスラブの滞留が起きると海溝の移動が促進された。これは、スラブに抵抗が働くこと、2つの相境界がトルクとして働くことによると考えられる。つまり、海溝の移動とスタグナントスラブの形成は相乗効果を持っていることが数値シミュレーションにより示された。

スタグナントスラブ形成に海溝後退が重要なのは、海溝の後退が起きるとスラブの unbending により浅い角度を持つスラブが形成されるからである。スラブは高い粘性率を粘性率を持つため、塑性がスラブの形状に大きな影響を与える。すなわち、スラブは過去に受けた変形の履歴によって決定される (もし弾性変形を考慮すれば、その分は元に戻る)。浅い角度でスラブが 660km 相境界と相互作用する場合には、スラブをわずかに屈曲させれば水平になる。このことに加えて、660km 境界が広い範囲に渡って凹むので、受ける浮力の合計が大きくなる。このため、スラブは屈曲を起こし、さらに一端曲がってしまうとスラブは形に沿って動き、横たわるスラブを形成する。このときもスラブは塑性の効果によりスプーンのような形状となる。このとき、スプーンの下側は 660km 相境界と接触するが、先端は相境界面から 100km 程度浮かんだ状態になる。浮いたスラブはそれ自体の堅さにより支えられる。結晶細粒化により、スラブ中心の強度が低下する場合にはより小さな曲率半径で上に曲がるスラブが形成される。さらに、水平なスラブが作られると、クラベイロン勾配が -2MPa/K 程度で相境界に完全に下降を妨げられていない場合でも、スタグナントスラブのようにゆっくり落下する。これは、スラブが縦になっているよりも横長のほうがゆっくり落下するためである。このようなことは、粘性率の細粒化を考慮したときに起こる。このときはスラブが 660km 境界の下で滞留しているように見える。

スラブの粘性率が非常に高く、クラベイロンスロープが急な場合 (-3MPa/K) には、沈み込んだスラブは下部マンツルに落下することなく、660km 相境界上に留まり続ける。スラブの強度が細粒化によって低下する場合には、-3MPa/K でもスラブは下部マンツルへ落下する。スラブの強度は全体に渡って低下するときにはメガリス型のスタグナントスラブとなる。一方、下部マンツルの粘性率が高いときにもスラブはゆっくりと下部マンツルへ降下する。これは、下部マンツルの抵抗が大きく、スラブが変形するからである。すなわち、スラブとマンツルの粘性コントラストが低いときには、スラブは下部マンツルへ崩落する。このことは、Rayleigh-Taylor 型の不安定の成長時間が粘性コントラストに依存することで説明可能である。これは、沈み込みが開始してからの年代が新しい沈み込み帯 (伊豆小笠原、トンガ) でスタグナントスラブが見られ、古い沈み込み帯 (日本、千島、ジャワ、中南米) において下部マンツルに落下しているように見えることと調和的である。また、下部マンツルの粘性率が高いときには、応力分布が深発地震の震源分布やメカニズムとよく調和する。しかし、我々の2次元モデルではスラブが下部マンツルと相互作用し始めると、プレート速度が急激に低下する。