

プレート運動の振る舞いを示すマントル対流の三次元モデル

Three dimensional model of mantle convection with plate-like behavior

吉田 晶樹[1], 小河 正基[2]

Masaki Yoshida[1], Masaki Ogawa[2]

[1] ESC, JAMSTEC, [2] 東大、教養、宇宙地球

[1] ESC, JAMSTEC, [2] Dept. of Earth Sci. & Astronomy, Univ. of Tokyo at Komaba

マントル対流の数値計算モデルにおいて、地球のプレート運動の振る舞いを示すマントル対流パターンを三次元空間で実現するため、温度、圧力、“破壊の程度”() に非線形に依存する粘性率を考慮したマントル対流の数値シミュレーションを三次元モデルを用いて行った。本研究において、は対流によって運ばれながら、粘性散逸が大きい領域で増大し、温度に依存する代表的な時間(マントル対流の時間スケールよりかなり小さい時間)で回復すると仮定する。破壊の程度の変化がマントル対流の変化に対してほぼ定常状態(つまり、生成項と消滅項が釣り合った状態)であるとしたとき、応力と粘性率の関係により、流体は、が十分に大きく高粘性率の領域では、ある応力の臨界値(i) を超えるまで高粘性率の状態を維持する。一方、低粘性率の領域ではある応力の臨界値(d) を下回るまで破壊された状態を維持する。これら二つの臨界値($i > d$, i / d : 一定) がそれぞれの領域において“破壊強度”として働くため、粘性率は“応力の履歴”に依存する。

マントル対流層は、アスペクト比 3、深さ 2900km、側面反射境界の三次元箱形にモデル化する。熱的境界条件は対流層上面で一定温度、側面と下面で断熱とし、内部発熱のみで対流を駆動する。このとき、対流層下面から発生する能動的な上昇ブルームは存在しない。二つの破壊強度の大小のレベルは、生成項(粘性散逸項)にかかる比例定数の大小で設定する。上面境界の基準粘性率は $1.0 \times 10^{26} \text{Pa s}$ とする。まず、リソスフェアの破壊強度のレベルが十分に大きい($i > \sim 100 \text{MPa}$) 場合、対流層上面の熱的・力学的境界層(地球のリソスフェアに相当)全体が自身の応力によって全く破壊されないため、“stagnant lid regime”に属する対流パターンを維持する。一方、リソスフェアの破壊強度のレベルが十分に小さい($i < \sim 50 \text{MPa}$) 場合、リソスフェアが自身の応力によって容易に破壊されるため、マントル対流パターンとプレート運動は非常に時間依存性が強くなり、地球のプレート運動の振る舞いとは異なる。このとき、リソスフェア内に幅広い低粘性率帯(weak zone)が多く生成し、リソスフェアがこれらの weak zone に囲まれた幾つもの小さい“軟らかいプレート”に分割される“weak plate regime”に属する対流パターンになる。

本研究の数値計算において、地球のプレート運動の振る舞いを示す“plate-like regime”の対流パターンは、次の二つの場合で発生することが分かった。(1) 初期状態として、リソスフェア内に weak zone が既に存在する weak plate regime に属する対流パターンから破壊強度のレベルを大きくし、リソスフェア内で発生する応力が二つの破壊強度の間で履歴を持つように設定した場合である。このとき、weak zone は幅狭く局所的になり、かつ軟らかいプレート部分は粘性率が高くなり面積が大きくなる。このため、リソスフェアは高粘性率の“プレート”部分と低粘性率の“プレート境界”部分に分離する。(2) 初期状態として stagnant lid regime に属する対流パターンで、かつリソスフェアの破壊強度のレベルが応力の履歴が存在する範囲にある状態で、対流層下面境界から能動的に発生する上昇ブルームを強制的に与えた場合である。このとき、リソスフェアは自身の応力によって破壊されないが、上昇ブルームの衝突によってもたらされる高い応力によって破壊し、新しいプレート境界となる局所的な weak zone を生成する。いずれの場合においても、プレート運動は weak zone での“リッジ押し力”により、統計的安定に維持されることが分かった。このとき、マントル対流層内部ではプレートの沈み込みにより、実際の沈み込みスラブ [例えば, van der Hilst et al., 1997; Fukao et al., 2001] と調和的なシート状の下降流が観察される。また(2)の場合、リソスフェア内には上昇ブルームによって割れ目が三方向に発達しやすくなる。これは、過去の地球における巨大大陸分裂時のブルームによるドーミングの状態 [例えば, Burke and Dewey, 1973] と調和的である。

つまり本研究の数値計算から、マントル対流の三次元数値計算モデルにおいて地球のプレート運動の振る舞いを示すマントル対流パターンを長時間に亘って実現するためには、(i)レオロジーの“応力の履歴”依存性、(ii)高粘性率のプレートを断続的に破壊する上昇ブルームの存在、が必要であることが示唆される。