

大陸とマントル対流の相互作用のシミュレーション

Interaction Between the Continental Lithosphere and Mantle Convection in 3-D Model

吉田 晶樹 [1], 岩瀬 康行 [2], 本多 了 [3]

Masaki Yoshida [1], Yasuyuki Iwase [2], Satoru Honda [3]

[1] 広大院・理・地惑, [2] 広大・理・地惑, [3] 広大・理・地惑シ

[1] Earth & Planet. Syst. Sci., Hiroshima Univ., [2] Dept. Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ., [3] Dept. Earth Planet. Syst. Sci., Hiroshima Univ.

本研究では、大陸リソスフェアを考慮したマントル対流数値シミュレーションを行った。大陸リソスフェアは高粘性の「蓋」(HVL)とする。マントル表層部に置かれたHVL下の温度は熱遮蔽効果のために上昇し、HVL領域から海洋領域へ水平方向のマントルの流れが発生する。この流れの反流によって、大陸下のCMB付近には上昇流が集中し、やがて巨大なブルームとなってHVL下に到達する。この一連の現象の時間スケールは10億年以内であるが、実際の地球マントルのレイリー数から簡単なスケールリングを行うと、この時間は数億年以内に見積もられる。我々の結果は、一つの巨大大陸の配置がマントルに1の温度構造を発生させることを示唆している。

巨大大陸下では地球内部の熱の放出が妨げられ、そこに蓄積された熱は大陸分裂の原因の一つとされている (Anderson, 1982). Gurnis (1988) や Zhong and Gurnis (1993) は2次元モデルを用いたマントル対流数値シミュレーションによって、この効果がマントル内に長波長の温度構造を作り出すことを示した。Storey (1995) が約1億8000万年前に分裂が始まったとされるゴンドアナ大陸の分裂過程の研究に基づいて示唆しているように、マントルブルーム(あるいは、ホットスポットの活動)が必ずしも巨大大陸分裂の直接的な原因になっているとは限らない。しかし、分裂過程の詳細や、大陸の離合集散の歴史に影響を与えるであろう巨大ブルームの起源を知る手段の一つとして、大陸とマントル対流のダイナミックな相互作用を理解することは重要である。

本研究では、3次元球殻モデルを用いたマントル対流数値シミュレーションを行った。大陸リソスフェア(以下「大陸」)はマントル対流から独立した高粘性の「固い蓋」(HVL; High Viscosity Lid)とする。マントルはプラントル数無限大で非圧縮の粘性流体を仮定し、厚さは2900km(地球半径の約0.45倍)、上下面は定温・自由滑り境界とする。マントルの粘性は一樣、あるいは、深さ方向に変化する粘性構造の効果を考慮するため、上部マントルの粘性を下部マントルの1/30倍にした。対流は、核から放出される熱、及びマントル中に一樣に分布していると仮定した放射性元素の壊変による熱(コンドライト隕石のそれと同程度)によって生じるとする。但し、内部発熱量は時間変化しない。下部マントルの粘性を用いて定義されるレイリー数は 10^6 とした。HVL領域はマントルに対して10倍の粘性と200kmの厚さを持ち、マントル全表面の30%を覆う。大陸はその下の対流に対して非常に動きの遅いものとし、その位置は時間に依らず空間的に固定する。また、マントル鉱物の深さ400km(発熱的)-670km(吸熱的)相転移の効果を取り入れた計算も行った。計算は、統計的に定常状態に達するまで長時間対流計算を行った後にマントル表層部にHVLを設置し、その後の対流の時間発展を追った。

統計的平衡に達した対流は、粘性一樣の場合は、短波長の温度構造が卓越する。これに対し、上部マントルの粘性が低い場合は、低粘性の上部マントルから表面へ輸送される熱量が多くなるため対流層全域が冷やされる。さらに上部マントルでは水平方向への流れが卓越する結果、長波長の対流パターンを形成する。これらを初期状態としたマントルの表層部に置かれたHVL下の温度は熱遮蔽効果のために上昇し、HVL領域から海洋領域へ水平方向のマントルの流れが発生する。この流れを補償するために生じた反流によって大規模な対流セルが形成された後、大陸下の核-マントル境界付近には上昇流が集中し、やがて巨大なマントルブルームとなってHVL下に到達する。この一連の現象の時間スケールは10億年以内であるが、我々が設定したマントルのレイリー数が実際の地球のマントルの値よりやや低めであることから、境界層理論を適用して簡単なスケールリングを行うと、この時間は数億年以内に見積もられる。これは Wilson (1968) が指摘した過去の大陸の離合集散の周期(約4~5億年、いわゆるウィルソンサイクル)と同程度になる。また、670km相転移面は吸熱的相変化により物質と熱の流れの障壁となって対流を抑制させるため、この時間を若干遅らせる。上部マントルの低い粘性は熱遮蔽効果を遅らせるが、この原因は温度構造が長波長になることにより、大陸を設置する場所の効果が表れるためであることが、二次元モデルでの同様の計算により推定されている。

我々の結果は、一つの巨大大陸の配置がマントルに degree 1 の温度構造を発生させることを示している。これは、現在のアフリカ大陸を中心とした正のジオイド異常、つまりマントルの高温領域が巨大大陸(パンゲア超大陸)の存在によるものであること、また、上昇ブルーム(または、ホットスポット)が大陸分裂に何らかの作用を及ぼしている可能性を示唆している。しかし、地震波トモグラフィーの結果(例えば、Li and Romanowicz, 1996)に見られるような核-マントル境界起源の degree 2 の対流パターンは、南太平洋下とアフリカ大陸下の大規模な上昇ブルームの存在を明示している。この degree 2 の対流様式が過去の大陸移動がもたらす一時的なものか、もしくはマントルが

持つ複雑なレオロジーによってもたらされる形態であるかは今後の課題となる。