

マントル対流の水平スケールと熱輸送に対する大陸プレート分布の影響

The effects of continental plate distributions on the horizontal scale and heat transfer of mantle convection

柳川 智彦[1], 竹広 真一[2]

Tomohiko Yanagawa[1], Shin-ichi Takehiro[2]

[1] 九大・理・地球惑星, [2] 九大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.

大陸の分布がマントル対流の熱輸送に与える影響を調べるために2次元ブジネスク流体モデルを用いた数値実験を行った。ブランドル数は無限大で内部熱源はない。レイリ-数は100000と1000000の2通りである。大陸は流体層上部に流れが無い領域を置くことでモデル化した。同じ長さの大陸を大陸と同じ長さの間隔で周期的に並べた。

大陸の長さを様々に変えた数値計算の結果、マントルの厚さと同程度の長さの大陸の場合にヌッセルト数が最大となった。その値は大陸がより長い、あるいは短い場合と比べて約30増加している。大陸がより長い場合は大陸と同程度の横長な対流セルが、大陸がより短い場合は大陸より横長な対流セルが形成されている。

地球磁場の長期変動は単に外核固有の力学的な性質によるものではなく、むしろマントルの影響を受けて変動していると考えられるようになってきている。最近Larson等(1991), Eide等(1996)は、白亜紀後期や中生代-中生代境界期に地球磁場が数千万年のあいだ逆転しなかった時期(スーパークロン)が大陸の集合やマントルプルームの発生時期と一致していることを指摘し、これらの現象がマントル対流と外核・地表面との相互作用で起きていることを提唱した。すなわち、大陸の分布がマントル対流を活発にし、それが外核からマントルへの熱流量を増加させて外核の力学的状態が変化するというシナリオである。そこで本研究では、このようなシナリオも基に大陸-海洋分布がマントル対流のパターンや核-マントル境界を通して流れる熱量をどのように変化させるかを考察した。

まずブジネスク流体モデルを用いて数値実験を行った。計算領域は2次元で縦横比が6の箱領域である。簡単のため粘性率、熱拡散係数は一定とし、内部熱源もなしとした。ブランドル数は無限大とし、運動方程式の慣性項を無視している。流体層の上下境界面では温度固定条件と応力無し条件を、側壁では反射条件を与えている。大陸は流体層上部に流速が0である領域を置くことでモデル化し、同じ幅を持つ大陸を水平方向に大陸幅と同じ長さの間隔で周期的に並べている。扱った大陸の長さは0.25, 0.5, 1, 2, 3, 6, さらに大陸がない場合と全面大陸の場合の8通りである。大陸の厚さは0.1に固定してある。大陸と流体層の間の境界条件は粘着条件と応力無し条件の2つの場合を扱った。レイリ-数は100000と1000000の2通りの場合について計算した。それぞれの場合で平均温度がほぼ一定になるまで対流温度がほぼ一定になるまで対流運動を計算した。

計算結果に見られる対流セルの構造の特徴は、マントル層の厚さより長い大陸と短い大陸とで異なっている。大陸がマントル層の厚さより長い場合には、大陸の分布に対応して対流セルが形成される。大陸の下に上昇流、大陸の外側に下降流でき、対流セルは大陸の長さと同じ程度に長くなる。しかしながら大陸がマントル層の厚さより短くなると、対流セル構造が大陸分布とは関係なくなっている。上昇下降流と大陸の位置との関係が曖昧になり、対流セルの水平スケールが大陸より長くなる。レイリ-数が100000の場合にはマントルの厚さよりも長い対流セルが実現されているが、レイリ-数が1000000の場合にはマントルの厚さ程度の水平スケールの対流セルとなっている。

計算されたほとんどの場合において、対流による熱輸送の強さを示すヌッセルト数は大陸の長さがマントルの厚さと等しい時に最大となる。例外はレイリ-数が100000、大陸-マントル境界が応力無し条件の時であり、大陸の長さがマントルの厚さの2倍の時にヌッセルト数が最大となる。レイリ-数が100000の時のヌッセルト数の最大値は、大陸の水平スケールが6の場合の値よりも30程度大きくなっている。しかしレイリ-数が1000000になると、その差は10程度でしかない。

これらの特徴を理解するため、Guillou等(1995)が提唱した大陸を含む流管モデルを修正し、大陸の長さと対流セルの水平スケール・流速・熱輸送の関係性を求めた。実現される対流構造を定める際の選択則として流速が最大となる対流セルが選ばれると仮定した。得られた対流セルの水平スケールは、大陸がない場合に流量が最大となるループの水平スケールに比較して大陸が長い時と短い時で変わってくる。大陸が短い場合には対流セルは大陸より横長になり、大陸がない場合に実現する対流セルの水平スケールに近づく。逆に大陸が長い場合には対流セルは大陸と同程度に横長なものになる。また大陸がマントルの厚さと同程度の水平スケールを持つ場合に熱輸送が最大となる。これらの性質は数値計算の結果と整合的である。

Larson等は白亜紀の地磁気スーパークロンにて、核からマントルへ流れる熱量が通常より60高かったと見積もっている。彼等の説に従うと、地磁気スーパークロンを発生させるのに必要な熱流量変化のうち、大陸分布の変化の影響だけで半分程度までは説明できる可能性があることを本研究の結果は示唆する。しかしレイリ-数が大きく

なると熱流量変化の振幅が弱くなるので、大陸分布の変化の影響だけで地磁気スーパークロンが発生していると考えるのは難しいかもしれない。