

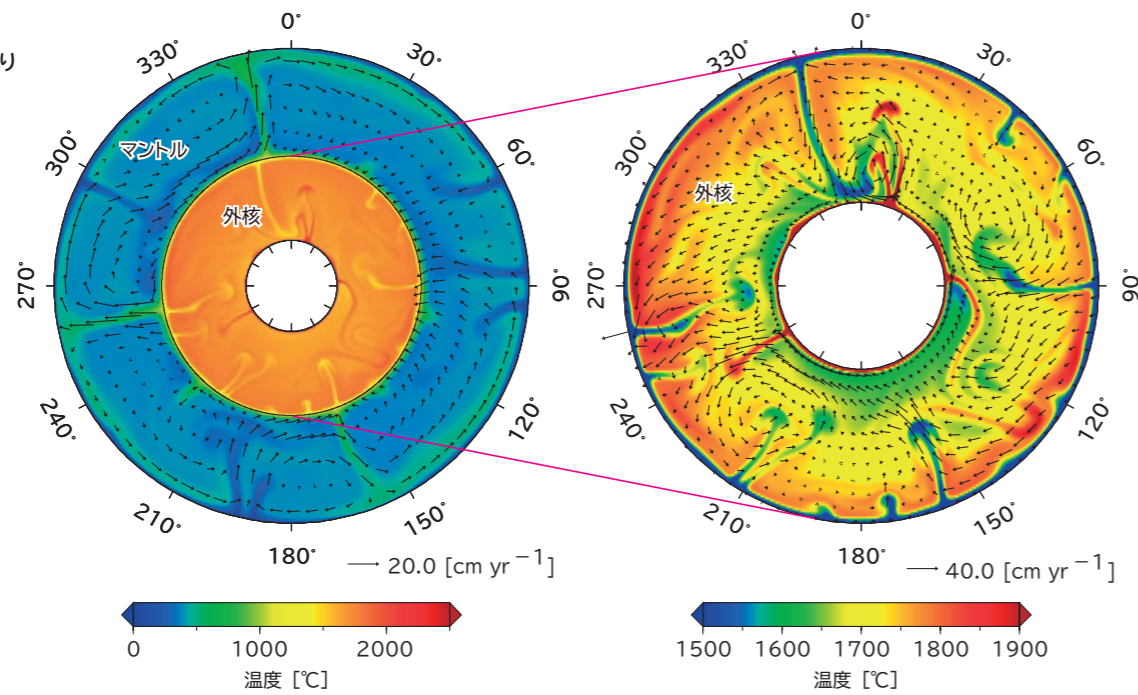
磁極反転の鍵は マントルとコアの境界にあり？

取材協力 吉田晶樹 JAMSTEC 地球深部ダイナミクス研究分野 主任研究員

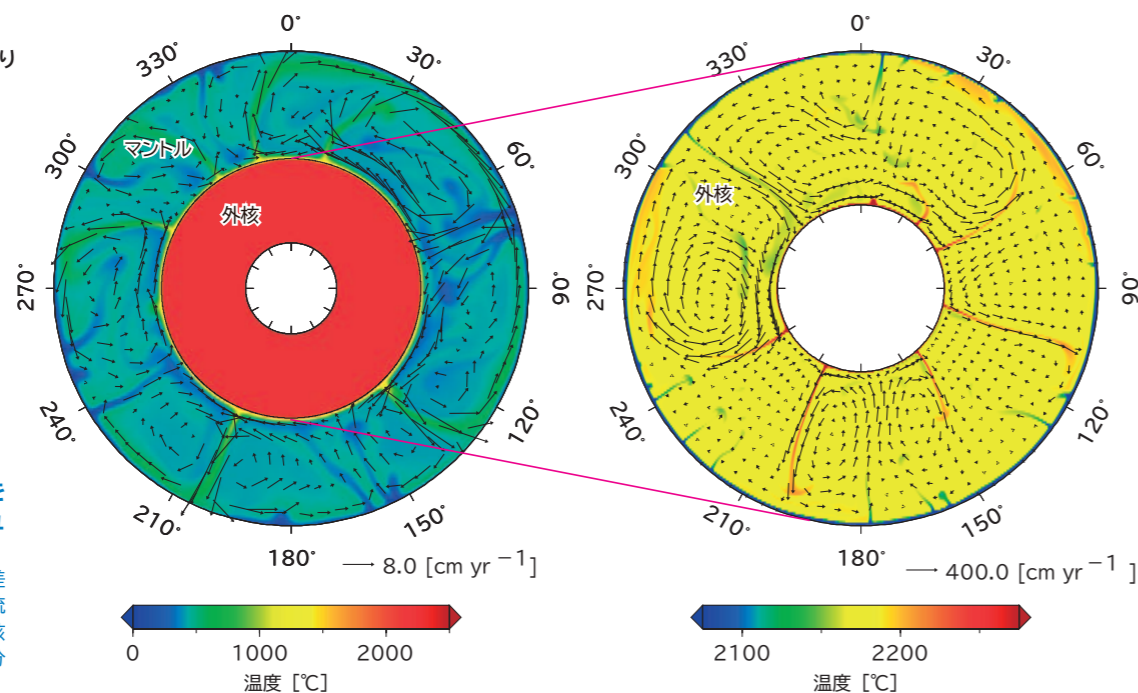
地球内部の変動は、地球深部の熱を外核とマントルの対流によって宇宙空間へ逃がすことで引き起こされている。「地磁気を生み出す外核の対流は、外側のマントル対流により支配されていると考えられています。しかしこれまで、マントルと外

核の対流のシミュレーションは異なる研究者により別々のプログラムを使って行われ、相互作用を調べる研究はほとんど行われていません。岩石から成るマントルと、鉄を主成分とする液体金属の外核は粘性率が大きく異なるため、マントルと外

外核の粘性率がマントルより1桁低い場合



外核の粘性率がマントルより3桁低い場合



マントルと外核の対流を1つのシステムでシミュレートした結果

マントルと外核の粘性率の差が大きいほど、マントル対流のパターンが安定化し、外核の対流を支配することが分かった。

Yoshida & Hamano (2016); Yoshida et al. (2017)

核の対流と一緒にシミュレーションすることが難しかったからです」。マントル対流のシミュレーション研究を行ってきた吉田晶樹さんはそう説明する。物質のかたさや変形のしにくさを表す粘性率は、マントルと外核で約17~23桁も異なる。代表的な対流速度は、マントルでは年間10cmだが、外核では年間10kmと、5桁（10万倍）の差がある。「そのため、マントルと外核の対流の計算手法が異なるだけでなく、計算時間が時間スケールの短い外核の方に縛られてしまいます」

吉田さんは、従来のマントル対流の計算手法を発展させてマントルと外核の対流を1つのシステムで同時に解いて、それらの相互作用を調べるシミュレーションを初めて行った。「実際の粘性率の差を組み込むと膨大な計算時間がかかるので、マントルの粘性率は現実的な数値にして、外核の粘性率をマントルと同じと仮定した状態から1桁ずつ下げていき3桁低い状態までを計算することにしました。その際、計算量を減らすため、赤道面で切った二次元断面のシミュレーションを行いました」

そのシミュレーションの結果、マントルと外核の粘性率の差を大きくすると、マントルと外核の間で上昇流と下降流の向きがそれぞれ同期する「熱カップリング」と呼ばれる状態になるとともに、遅いマントル対流に引きずられるようにして、マントルと外核の境界直下の外核最上部の流れが遅くなる効果が生み出ることが分かった。

「マントルと外核の境界直下の熱境界層が厚くなるとともに、外核最上部の流れが遅くなることで、外核からマントルへ運ばれる熱流量が抑えられることが分かりました。それにより、外核の対流が非常に激しいにもかかわらず地球が適度にゆっくりと冷え、マントル対流のパターンや表層のプレート運動が安定していると考えられます。地球深部の外核とマントルの相互作用が、表層環境に大き

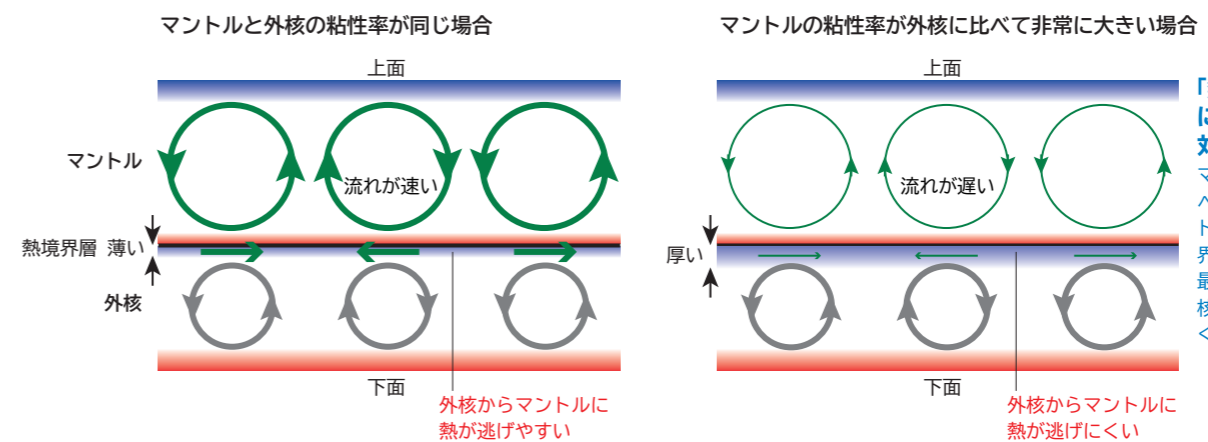
な影響を与えている可能性があるのです」

外核とマントルの相互作用は、地磁気にも大きな影響を与えていると考えられる。過去500万年間の歴史を見ると、平均して20万~30万年の周期で磁極反転が起きているが、その周期は規則的ではなく、たとえば、最後に磁極反転が起きてから約78万年もたっている。「このような10万年スケールの不規則な磁極反転周期は、外核で起きている乱流や地磁気を発生させるダイナモ作用の性質だけでは説明できず、外核最上部の流れがマントル対流に引きずられて一時的に不安定になることが、地磁気の変動や磁極反転を引き起こす要因の1つになっている可能性があります」

今回のシミュレーションでもう1つ分かったことがあったと吉田さんは話す。「マントルと外核の熱カップリングの状態は、最近の地球化学や地震学の解析で見えてきた地球内部全体にわたる温度の東西半球構造（『Blue Earth』139号、2~3ページ）をうまく説明するのです」。つまり、マントルの対流パターンが外核を通して内核の構造までも支配しているということだ。

吉田さんは今後、外核の粘性率をさらに下げて現実により近い設定でシミュレーションを行う計画だ。「さらに内核も含めた地球内部の丸ごとシミュレーションを目指したいと思います。地球が冷えるに従い、固体金属の内核が大きく成長して外核のサイズは小さくなってきたはずですが、内核の成長により外核の対流パターンや外核からマントルに運ばれる熱流量がどのように変わってきたのか調べてみたいですね」

外核の熱で暖められたマントルは、大規模な上昇流スーパーブルームとなって表層へ向かう。スーパーブルームの活性化は大きな環境変動を引き起こしてきたと考えられる。その1つが、約1億年前の白亜紀に起きた海洋無酸素事変だ――



「熱カップリング」の状態にあるマントルと外核の対流の様子

マントルの粘性率が外核に比べて非常に大きい場合、マントルと外核の境界直下の熱境界層が厚くなるとともに外核最上部の流れが遅くなり、外核からマントルへ熱が逃げにくくなる。