

## マントル対流と地球表層運動の相互作用 - 数値シミュレーションモデル -

# 吉田 晶樹 [1]  
[1] 海洋研究開発機構

## Interaction between mantle convection and surface tectonics: Numerical simulation model

# Masaki Yoshida[1]  
[1] IFREE, JAMSTEC

The previous numerical studies of mantle convection suggested that there is a significant feedback between mantle convection and surface tectonics (i.e., continental drift and plate motion). The process of assembly of supercontinents induces a temperature increase due to the thermal insulating effect. Such thermal insulation leads to a planetary-scale reorganization of mantle flow and results in longest-wavelength thermal heterogeneity in the mantle, i.e., spherical harmonic degree-one convection, within three-dimensional (3-D) spherical geometry. The formation of degree-one convection seems to be integral to the emergence of periodic supercontinent cycles. The rifting and breakup of supercontinental assemblies may be caused by either tensional stress due to the thermal insulating effect, or large-scale partial melting resulting from the flow reorganization and consequent temperature increase beneath the supercontinent. Supercontinent breakup has also been correlated with the temperature increase due to upwelling plumes originating from the deeper lower mantle or CMB as a return flow of plate subduction occurring at supercontinental margins. Active upwelling plumes caused by the significant basal heat flow from core disrupt the periodicity of supercontinental cycles.

The continental lithosphere exhibits a general behavior that is almost uncorrelated with the behavior of the oceanic lithosphere and/or mantle because its material is less dense than that of the oceanic lithosphere and mantle and is more rigid than that of the mantle. It thus acts as an assemblage of fairly rigid bodies 'floating' on top of the mantle, which explains the modeling of continents as nondeformable, highly viscous blocks or rigid lids in the previous numerical model. Here, I present a new numerical simulation model of mantle convection with a compositionally and rheologically heterogeneous, deformable, mobile continental lithosphere by using 3-D regional spherical-shell geometry. A compositionally buoyant and highly viscous continental assemblage with pre-existing low-viscosity continental margins, analogous to the supercontinent, is modeled and imposed on well-developed mantle convection whose vigor of convection, internal heating rate, and rheological parameters are appropriate for the Earth's mantle. The visco-plastic rheology and the associated subduction of oceanic plates are incorporated. The time integration of the advection of continental materials with zero chemical diffusion is performed by a tracer particle method. The results revealed that Earth-like continental drift is successfully reproduced, and the characteristic thermal interaction between the mantle and continents/supercontinents is observed in my numerical model.

In this talk, I will synthesize the results from the previous numerical studies and discuss many outstanding problems about the thermal and mechanical feedbacks between the supercontinent and mantle/core convection, and the temporal evolution of the Earth's mantle structure.

地球表層運動（大陸移動やプレート運動）は、地球史を通じて地球の内部構造の進化に多大な影響を及ぼしてきたと考えられる。地球表層運動とマントル対流との熱的・力学的相互作用の歴史の解明には、数値シミュレーションが有効な手段の一つである。地球表層を「漂う」大陸リソスフェアは離合集散を繰り返しながら（超大陸サイクル）、約5~7億年周期で超大陸を形成してきた。超大陸サイクルとマントルの対流の進化（時間変化）との間に相互作用があることは容易に想像できる。一方、そのマントル対流を引き起こす原動力の一部はCMBを介してコアから運ばれる熱である。実際、数値シミュレーションで得られるマントル対流パターンはコアからの加熱量に大きな影響を受ける。つまり、地球表層運動はマントル対流のみならず、コア内の対流の振る舞いにも間接的に影響を受けていることになる。

超大陸が考慮されたマントル対流の数値モデルは、1988年に発表されたガーニスの二次元矩形モデルを筆頭に、1990年代の計算機性能の向上を経て、1999年に発表された我々の三次元球殻モデル以降、世界の幾つかのグループによって研究が進められている。これらの研究から得られた主な結果は次の通りである。（1）超大陸による熱遮蔽効果のために超大陸直下のマントルの温度が上昇する。やがてマントル内部に全球規模の流れを引き起こし、球面調和関数の1次（degree-1）が卓越する温度構造（超大陸下に上昇流、海洋側に下降流が卓越する構造）が形成される。その結果、数億年の時間規模でCMBから大規模な上昇流が超大陸下に発生する。（2）超大陸縁辺での海洋プレートの沈み込みによる補償流（CMBからの上昇流）によっても、超大陸直下の温度上昇が起きる。（3）超大陸の熱遮蔽効果に伴うマントルのdegree-1構造の形成は、その後の周期的な超大陸サイクルを導く。特にコアからの加熱の割合が大きい場合には、積極的な上昇ブルームの発生により、その周期が実際の地球の超大陸サイクルのように不定期間隔になる - などである。

しかしながら、これらの研究では、大陸は剛体的な（変形のしない）高粘性の「リッド（蓋）」とモデル化されてきた。

大陸は本来、地球史を通じてマントル物質の融解と化学分化により生成されるものの、その存在はマントル対流システムとは力学的にほぼ独立した領域だからである。一方で、マントル対流計算で通常用いられる計算手法の枠組みでは計算精度の問題により、大陸の自発的な移動をモデル化することが困難であった。最近我々は、粒子法と呼ばれる手法を発展させることで、大陸自体の変形とその移動が可能な三次元マントル対流モデルの開発を行った。このモデルでは、これまでのモデルに考慮されなかったプレートの運動も実現されている。マントルと大陸のレオロジーや物性に関して現実的なパラメータを用いて予備的な計算を行ったところ、超大陸の自発的な分裂、超大陸下の温度上昇、大陸縁辺での海洋プレートの沈み込み、約5億年後の大陸同士の衝突、大陸の衝突帯の形成 - など、ウィルソンサイクルの大部分を再現する計算結果が得られた。

本講演では、これまで世界で行われてきた数値シミュレーション結果のレビューを含む、我々の最新の結果を紹介し、地球表層運動、マントル対流、コア対流との相互作用について、今後、マントル対流の数値シミュレーションモデルで解明されるべき問題について議論したい。