

粘性率の応力履歴依存を考慮した、プレート運動を伴う3次元マントル対流モデルの開発

宮腰剛広(海洋研究開発機構), 亀山真典(愛媛大学), 小河正基(東京大学)

1. Introduction

地球のプレートでは、ほぼ同じ応力が掛かっているにもかかわらず割れている所とそうでない所がある。割れる原因となった応力が取り除かれても、プレートはすぐに元の堅さには復帰しない。すなわち、その状態はプレートが受けてきた応力の履歴に依存する。

マントル対流計算によく用いられる降伏応力モデルでは、粘性は応力履歴には依存しない。応力は降伏強度以上にはならないと仮定し、歪み速度がさらに上昇した場合は応力が一定を保つように粘性が下がると仮定する(従って降伏応力における粘性は不定になる)。ある特定の一つの降伏強度を境界として割れているかそうでないかの状態が分かれるため、実際の地球で見られているような、安定で剛体的なプレート運動にはなりにくい。また降伏強度として例えば100Mpaといった値が用いられるが、その場合これはプレートカップリング強度(以上)の値という点では妥当なものの、破壊を全く経験していない岩石の破壊強度よりはかなり小さいという問題もある。

そのような不安定なプレート運動のもとでは、マントル内がよく攪拌され、LLSVP(巨大地震波低速度領域)のような構造が形成されにくく、対して粘性の応力履歴依存性を考慮すると安定なプレート運動のもとでそのような構造が形成される事が、二次元モデルより分かっている(Ogawa, 2014)

以上のように、現在の地球上で見られるような安定で剛体的な挙動をするプレート運動を調べるためには、プレートが受けてきた応力履歴に依存する粘性を考慮することが不可欠である。そのため我々は、Ogawa(2003)で提案されている応力履歴依存粘性を考慮した、三次元マントル対流モデルの開発を行っている。開発状況と現在の進展について報告する。

2. Methods

マントル対流シミュレーションコードACuTEMAN(Kameyama et al. 2005)に、Ogawa(2003)で提案された応力履歴依存粘性を導入する。粘性の温度依存性、圧力依存性も考慮する。メッシュ数は512*512*128の、三次元直方体モデルである。本モデルは世界初の、応力履歴依存粘性を考慮した三次元マントル対流数値シミュレーションである。

3. Results

(1)低レイリー数、低粘性率コントラストのケース

$$r_T(\text{温度依存粘性コントラスト})=10^{6.5}, r_p(\text{圧力依存粘性コントラスト})=10^{3.5}, r(\text{上面下面間の粘性コントラスト})=10^3, Ra=8.8 \times 10^5$$

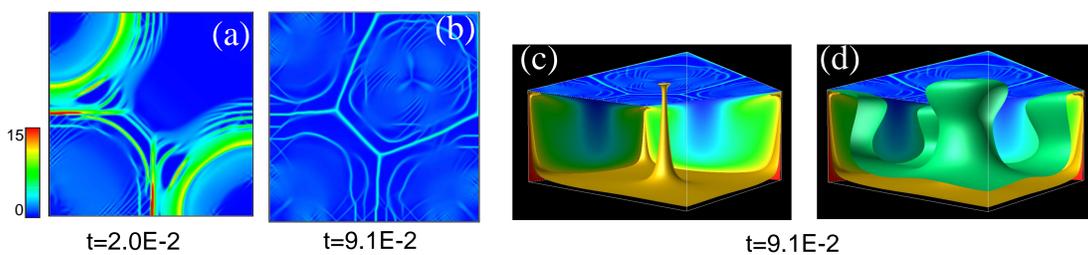


Figure 1. (a, b) 表面のダメージの時間発展。(c, d)3次元温度場構造。等値面(高温:黄、低温:緑)

r が小さいためプレートが相対的に柔らかく、プレートが自重で割れて沈み込む(Weak Plate regime, Ogawa (2003))。このケースではほぼ定常状態になるまで計算が遂行出来ている。Fig1(a)(b)では局所的に細長い、ダメージを受けた構造が形成されているが、問題なく解く事が出来ている。(d)を見ると、ダメージを受けて破壊された部分に沿って上層の低温物質が沈み込んでいる様子が見られる。プレートが柔らかいため、剛体的な運動はしていない。

(2)高レイリー数、高粘性率コントラストのケース

$$r_T=10^{7.4}, r_p=10^2, r=2.2 \times 10^5, Ra=3.4 \times 10^7$$

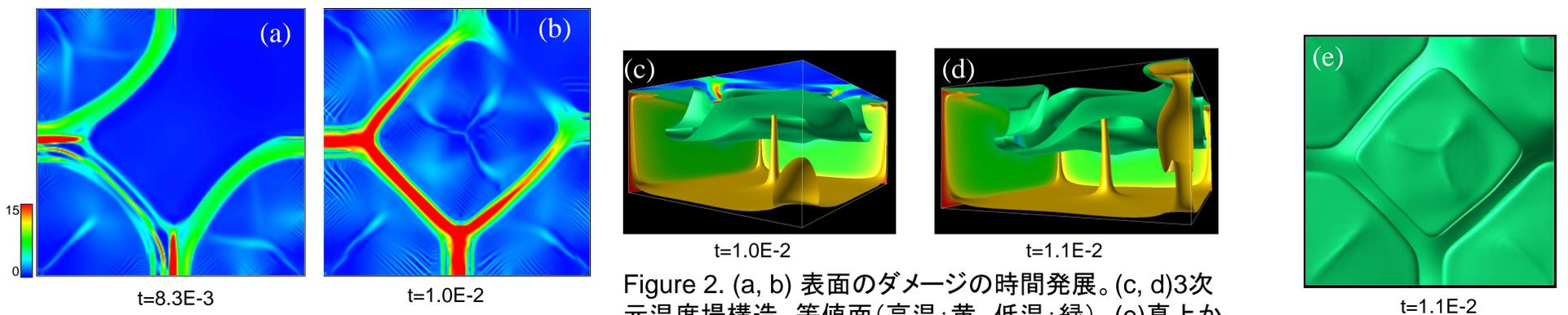


Figure 2. (a, b) 表面のダメージの時間発展。(c, d)3次元温度場構造。等値面(高温:黄、低温:緑) (e) 真上から見た低温等値面。

プレート運動が実現されるPlate like regimeのパラメータでの計算(Ogawa, 2003)。現在まだ定常状態に至るまでは時間積分できておらず計算途中であるが、問題なく計算が行えている。(時間の単位は地球マントルの熱拡散時間~2000億年。)強い応力によってリソスフェアが割れ、形成されたプレート断片が剛体的に運動を開始しつつある。最終的にどのような振る舞いになるかを調べる為、現在も計算続行中である。

4. Future Plans

局所的に大きな粘性率変化を持つ構造が形成される点が本問題の困難な点の一つであるが、現在の所問題なく計算が進んでおり、順調にコード開発が進んでいる。新たなプレート境界の形成をも含んだプレートの挙動といった問題は、応力履歴依存粘性を考慮しないと正確には取り扱えないと考えられるため、そのような問題について調べていく。さらに火成活動モデル(愛媛大学・亀山教授発表)と組み合わせ、現在の地球に見られるような安定なプレート運動を含む地球史を3次元で調べる事により、物質循環やLLSVPなどの構造の形成過程等について、従来よりもより正確な理解を得る事を目指す。