

2013年7月17日（水）

2013年度 前期第11回 地球科学輻合ゼミナールレポート

「プレートテクトニクスの起源と進化について」

講演者：エール大学 地質地球物理学教室

教授 是永 淳 先生

報告者：京都大学地学研究科地球惑星科学専攻

地質鉱物学分野 宇宙地球化学分科

修士課程1年 藤本 万寿人

1 講義概要

プレートテクトニクスという概念は既に広く知れ渡ったものであり、プレートテクトニクスの動きを考えることによってマンツルの動きだけでなくそれに相互して、地球の海洋やコア、大気にまでも影響を考えることのできる、地球科学を行ううえでとても重要な概念であることは間違いない。しかしながらこのプレートテクトニクスについての基本的な部分に関しては明らかにされてないということも事実である。例えば、プレートテクトニクスがなぜ起こるのか。どのようにして進化してきたのか。そもそもいつ始まったのか。こういった質問はとても基本的なものであるにも関わらず解明されていない。これらの質問はしかしながら相互的に関係性をもつ疑問であるために、ある疑問の解決の糸口はその他の質問の解決にも影響を及ぼすようなものであることも容易に考えられる。この講義ではこのプレートテクトニクスのこういった疑問の解決につながる、起源と進化についてマンツルとプレートとの関係を用いて説明を行い、また海洋というものがこの問題を考えるために必要な要因であることを明らかにしている。

2 講義内容

2.1 プレートテクトニクスは何故起こるのか

地球型惑星として知られている水星、金星、地球、火星のなかでプレートテクトニクスをもつ惑星は地球しかないことが知られている。プレートテクトニクスを持たない理由としては、熱依存性のある粘性率をマンツルが持ったとき粘性率比が強い場合の一般的なマンツルの運動は *stagnant-lid convection*（停滞リッド型対流）とよばれる対流を行うことが分かっている。これは上面が高粘性であるため徐々に冷えていき固い層を作り、それ自体は動かず、マンツル深部でのみ対流を起こすというものである。地球以外の地球型惑星ではこういったマンツルと近くの動きをもつためプレートテクトニクスが起きてないと考えられる。一方地球のプレートは粘性に温度依存性があたかもないような、そういった効果を消すよ

うなバイアスがかかったような特異な挙動を示している。

ここで **Thermal cracking hypothesis** という仮説を考え、地球にプレートテクトニクスが発生した要因を考える。高温の物質を急冷するとその変形に対応することができず熱応力によってその物質が割れてしまうという現象がある。この現象が実際にマントルから上昇してできたプレートにも影響を及ぼしていると考え、プレート事態に深部にまで及ぶ割れ目のようなものがあると考えられる。この割れ目に水が入り込むことにより摩擦がなくなりプレートを変形させることができる状態、水の介入によって粘性率があたたかも温度依存しないような下がった状態を考えることができるのである。これはプレート上に水が必要であるという条件があり、地球以外の地球型惑星でプレート運動が起きていないことの説明もつくプレート運動を開始するためには、上面にある固いプレートの層を折り曲げるための力に比べて対流による応力が上回る必要性があるのだが、プレートの粘性率が下がることによってプレートを折り曲げ深部に送ることができプレート運動を起こすことができるようになる。

2.2 地球上のプレート運動の進化過程

地球の熱収出を考えるため、以下の式を用いる

$$C \frac{dT}{dt} = H(t) - Q(t) \quad (1)$$

ここで $H(t)$ は放射性壊変の発熱による加熱を考える項、また $Q(t)$ は対流による熱

放出を考える項である。放射性壊変による加熱は過去程大きい値で 30 億年前は 2 倍程度の大きさをもつ。熱放出についてはマントルが熱いとき動きが活発であり熱を放出する量が大きくなる項である。

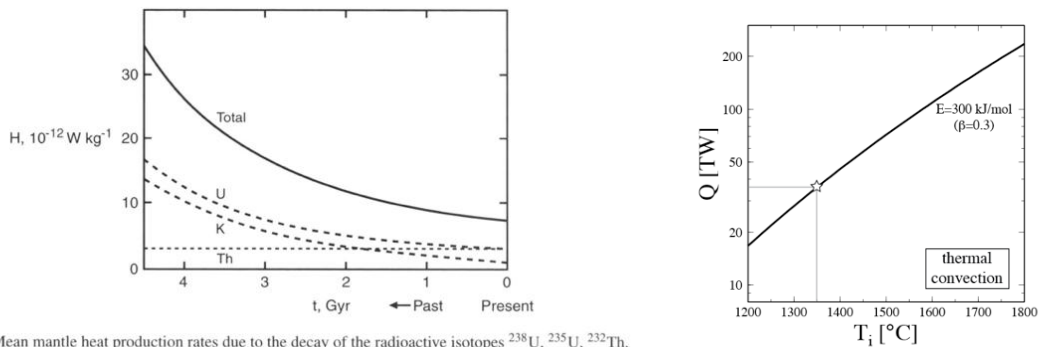
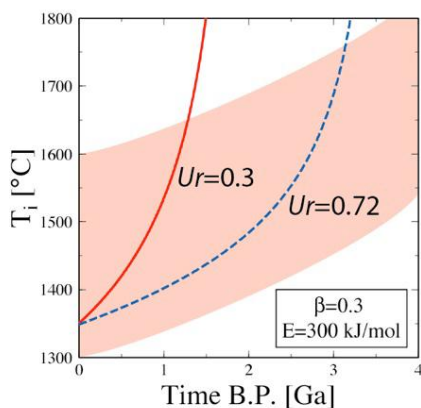


Figure 4.6. Mean mantle heat production rates due to the decay of the radioactive isotopes ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , and ^{40}K as functions of time measured back from the present.

過去のマントルの熱対流が活発であることを考えると、現在のマントルよりも温度が高いことを考えなくてはいけなくなり、それよりも過去を考えるとまた温度

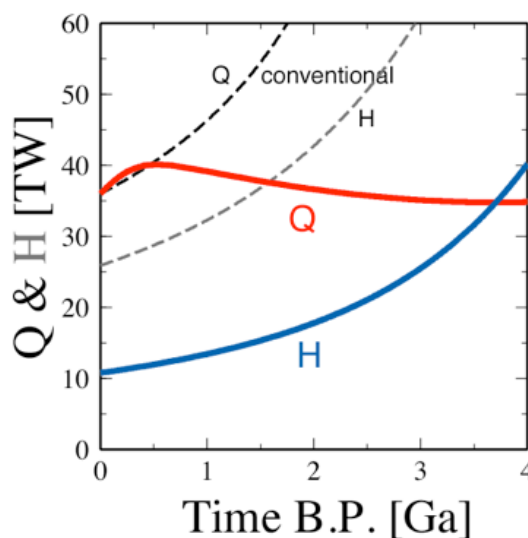
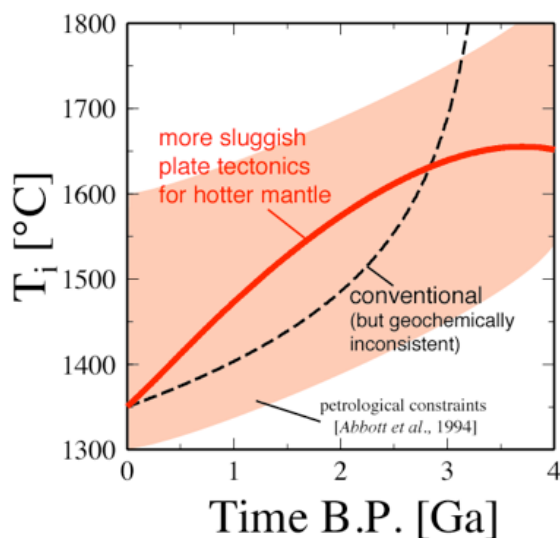
が過去のほうが高くなくてはいけないといった状況がかんがえられるように考えていくとマンツルの温度は過去にいくと発散してしまう状態が考えられる。そしてそのときのマンツルの温度と年代の変化は以下のグラフのように考えられる。



ここで現在の Ur (Urey ratio) $=0.23 \pm 0.15$ を仮定したものが地球マンツルの温度史を記述していると考えられる。ここでこのグラフの赤い領域は地質学的に考えた地球マンツルの温度史に関する制約条件である。しかしながら現在の Ur を仮定したものではこの制約条件を満たすような振る舞いを考えることができない。ここで左図に示しているように $Ur=0.72$ 程度の条件を考えなければ説明をすることができない。

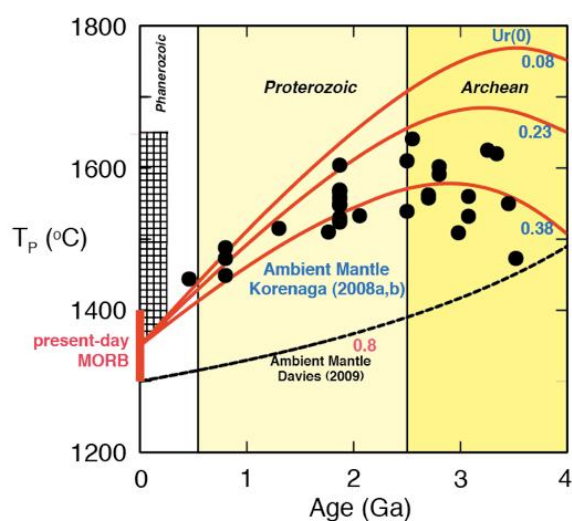
ここでこの問題を解決するために式(1)より、現在考えているものとは異なる $Q(t)$ の挙動がを考慮することにする。

マンツルが上昇して冷えて固まりプレートになるという一連の運動において、マンツル上昇し部分熔融する際に不純物である水を排出していくことが知られている。ここでマンツルは昔ほど高温だったことを考えると、より深くからマンツルが部分熔融していくことが考えられる。そのため水分をより排出することが考えられるのでプレート自体は厚くなる。結果プレートを曲げるのにかかるエネルギーが大きくなり速度が遅くなることが考えられる。こういった状況を考えたものが



上の左図の赤い線である。 Q の時代変化が過去につれて発散するように大きくなっていない状態を仮定することができ、結果として地質学的な制約条件に

沿うような形の温度史を記述することができるようになる。これは超大陸史の生成頻度が過去からさかのぼると徐々に上がっているという研究結果 (History of supercontinents, Hoffman, 1997) からプレート速度、マンツルの対流速度が上がっていることを説明することができる。またその他のいくつかの研究結果でサポートされている。実際の地質学的な観測結果による結果からもこの考え方が妥当であると考えることができる。(Herzberg, Condie & Korenaga, 2010)



またマンツルが開放系であることを考えると、マンツルと海洋で水のやりとりをしている可能性があることがわかる。マンツルの移動速度が遅かったことを考えるとより長くプレートが冷やされる手目に密度が大きくなり重力により、マンツルの移動速度が速いときにくらべてより沈み込むという状況を考えることができるので、昔の海の深さ深かったことを考えることができ、これより昔の海水量が多くても海水面が現在考えられているものと大きくそれないということを説明することができる。昔ほど海水の量がおおいということは、マンツルに入ってる水の量はその分だけすくないということであり、そのため昔のマンツルは今より高温であっても、同時に乾いているため粘性率がそれほど低くならない。これによりマンツルとプレートの粘性差が小さくなることを考えることができるので、地球マンツルの対流状態が **stagnant-lid convection** になりにくい方向に過去あったことが言えるようになる。

3 授業感想

プレートテクトニクスについては知っていたもののその基本的な成因要因がまだ解明されていないということを知らなかったのが驚きました。その成因を考察

する仮説や理論が実際の観測結果と照らし合わせながら、より正確に地球の物理的な動きを考えていくという研究の筋道がよくわかる発表であったために知らない事実を知ることができたということ以上に興味を持って話を聞くことができました。