

特集 ■ 全地球史はどこまで解明されたか

中央海嶺玄武岩から マンタルの温度を読む

小宮 剛

付加体地質学によって

過去の中央海嶺玄武岩が明らかになる

マンタルの表層は、対流しない低温の堅い蓋、すなわちプレートで覆われている。プレートの表層は地殻で覆われ、海洋プレートの場合その厚さは7 km、大陸プレートの場合30~40 kmである。海洋底の年齢は最古のもので約2億年であり、それ以前のはプレートを取束境界で沈み込んでしまったとされる。近年、室内実験と海洋地殻の物理観測(とくに厚さ)に基づいて海洋地殻生成メカニズムの物理モデルが開発され、その応用として母マンタル(マンタル上部のこの部分が溶けて生じた中央海嶺玄武岩マグマが固化して海洋地殻ができる)の温度を、まだその誤差は大きいとはいえ、求めることが可能になった⁽¹⁾。

いっぽう、付加体地質学が体系化され、この原理を2億年よりも古い(先2億年)地質体に応用することによって、先2億年の付加型造山帯の同定だけでなく、その中に取り込まれた海洋プレート物質、とくに中央海嶺玄武岩の同定と、その試料収集が可能になった。さらには岩石学的/地球化学的手法を駆使してそれら岩石を解析することによって、付加体中に残された記録を読みとることによって、先2億年の海洋プレートやマンタルの情報を手に入れることができるようになったのである。

試料の産地

詳しい地質調査がなされた結果、付加体であることが実証され、さらにその産状に基づいて中央海嶺起源火山岩であると認定された試料の産地は、



図1 世界最古の礫岩や玄武岩(枕状溶岩), 縞状鉄鉱層, 生命の痕跡(化学化石)で知られるグリーンランドイスア地域. 38億年の付加体構造の発見によって, 太古代初期の海洋地殻とマンツルの情報を得ることが可能になった.

グリーンランドイスア地域(38億年前, 図1)⁽²⁾, 西オーストラリアノースポール地域(35億年前, 本特集号椛島太郎氏・寺林優氏解説参照), 同クリーバビル地域(33億年前)⁽³⁾, 同ハマスレー地域(25億年前), および同キララ地域(18億年前)の5カ所である(図2). これらの地域からそれぞれ500~3000個の試料が収集され, それらすべてが観察用に岩石薄片に加工された. 野外と顕微鏡下の観察に基づいて変質と変成に伴う元素移動が最も少ないと推定される岩石試料をこれらから選別して, 各地域から約100~200試料の主成分と微量元素の化学分析が蛍光X線分析装置によってなされた. さらにそれらのなかで代表的な試料約30個が選ばれ, 高周波誘導プラズマ質量分析

計によって遷移金属元素の分析がなされた.

主成分元素の特徴

以下では代表的な例として, 35億年前のノースポール地域の例を紹介しよう. 横軸にメルトができるときの部分溶融の程度や結晶分化(温度の低下に伴いマグマから鉱物が晶出し取り去られることで, マグマの組成が変化すること)の程度の指標となるMgOをとり, 縦軸に他の主成分元素をプロットして, 現在の中央海嶺玄武岩と比較してみよう(図3). 顕微鏡下での観察によって, 班晶鉱物(冷却の初期にメルトのなかに晶出した鉱物)の組合せから結晶分化作用のトレンドは, かんらん石→斜長石→単斜輝石もしくはかんらん石→単斜輝石→斜長石の順であり, 斜長石と単斜輝石がほぼ同時に出現していたことがわかっている.

いっぽう現在の中央海嶺玄武岩では, つねに前者の順序で, 斜長石が単斜輝石よりも先に出現する. 分化が進んでいくときのトレンドにおける両マグマの組成の違いは, 分化指数(MgO)が一定のときに比較すると顕著になるが, 太古代中央海嶺玄武岩は, FeOやTiO₂などの液相に濃集する元素が少なく逆にAl₂O₃が多いという傾向をもつ. これは太古代の中央海嶺玄武岩の一般的な傾向で, 単斜輝石の分別の影響が現在よりもより顕著であることを意味している. その原因はなんだろうか.

単斜輝石の分別を早期におこさせる要素として,

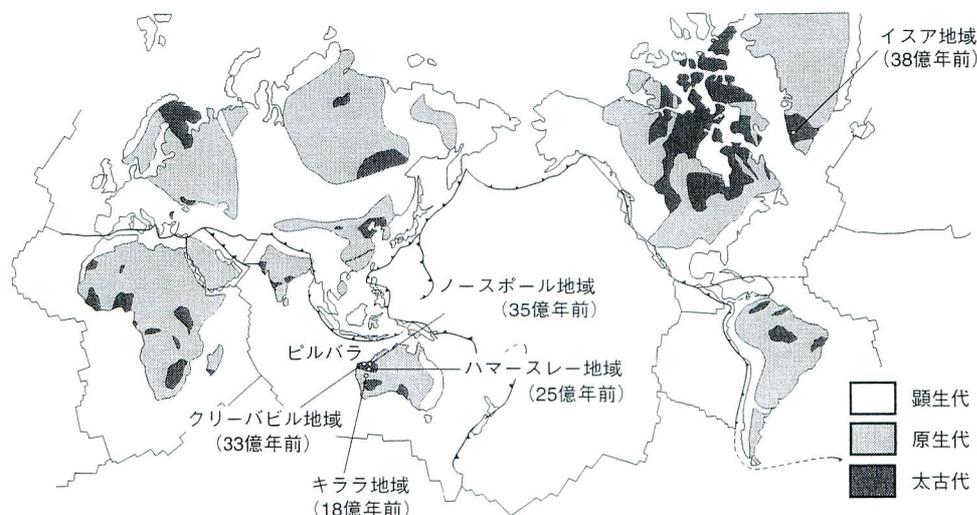


図2 世界の造山帯の分布と本研究の試料採取地.

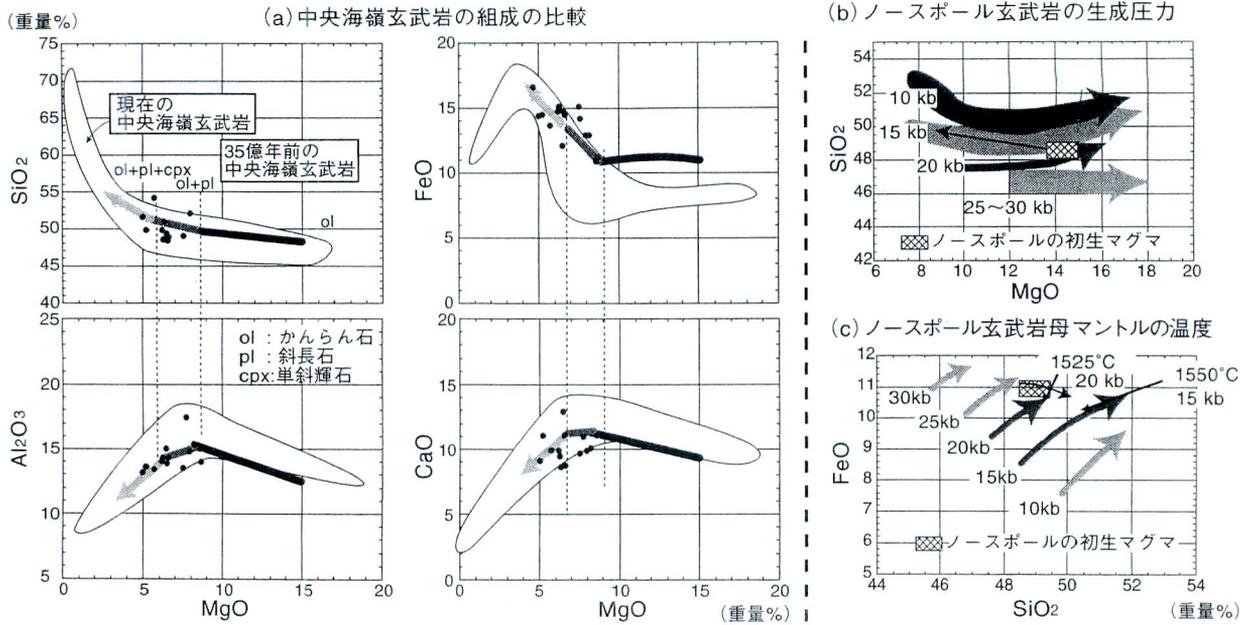


図3 現在の中央海嶺玄武岩と35億年前の中央海嶺玄武岩の組成の比較とマントル温度の推定。太古代のそれは班晶鉱物組合せによって3種類(ol, ol+pl, ol+pl+cpx)に分けられる。最も未分化な玄武岩(MgO=9%)にかんらん石を加えた組成トレンドは現在の中央海嶺玄武岩のトレンドとFeO, Al₂O₃, CaOの組成が系統的に異なる(a)。MgO=9~15%の未分化マグマのSiO₂は48~50% (b)であり、そのようなマグマは、約15~20 kbar, 1525~1550°C, FeO=10%の母マントルの部分融解で生じる(c)。なお、本解説では、全鉄を2価鉄として計算している。

結晶分化作用の圧力(深度)、マントルの融解の程度と圧力(深度)、水の量などがあげられる。これらがそれぞれ高くなる(あるいは多くなる)と単斜輝石の分別が早くなる。中央海嶺のマグマ生成メカニズムや太古代中央海嶺玄武岩の希土類元素含有量の特徴をみる限り、部分融解の程度が高かったことが、最もありそうな要素である。希土類元素は、ガーネットが存在する高圧下でのメルトの生成の際に特徴的なパターンを示す。上記5カ所の結果はすべて、融解がガーネットが存在しない低圧下(深さ約70 km以浅)でおきたことを意味する。最近の中央海嶺の物理モデル⁽¹⁾によれば、この場合、マグマのMgO含有量が最大約15%であることがわかっている。

母マントルの温度と組成

各時代のマントルの組成や温度を見積もるために、最近の高精度の溶融実験のデータ⁽⁴⁾と比較検討した。溶融させたかんらん岩組成が少しずつ異なるこれらの実験データを整理すると、以下の重要な傾向が存在することに気づく。

(1) メルトのSiO₂量は、融解するかんらん岩

(母マントル)の組成に依存せず、また融解度が高いところでは、融解度にも依存せずほぼ圧力だけで決まる。(2) いっぽう、メルトのFeO量は、かんらん岩のFeO量、融解度、圧力すべてについて正の相関をもつ。

そこで、分析された試料のなかで最も未分化な玄武岩(まだ斜長石や単斜輝石をわずかししか晶出していないマグマ)に、結晶分化作用によって取り去られたであろうかんらん石の組成を加えていくことによって結晶分化を受ける前のメルトを推定する方法をとろう。当時のマントルのFeO含有量の最小値を求めることにして、最も高いMgO(15%)までかんらん石を加えることにする。そのようなマグマを生じた母マントルは、現在の上部マントル組成(FeO量は約8%)よりもさらに鉄に富んでいる必要がある。そして前述のように、そのようなマントルが比較的低压で溶融して太古代の中央海嶺玄武岩が生成されたと考えられる。

高温だった太古代のマントル

ノースポール地域の玄武岩以外の太古代火山岩すべてに対しても同じような結果が得られた。す

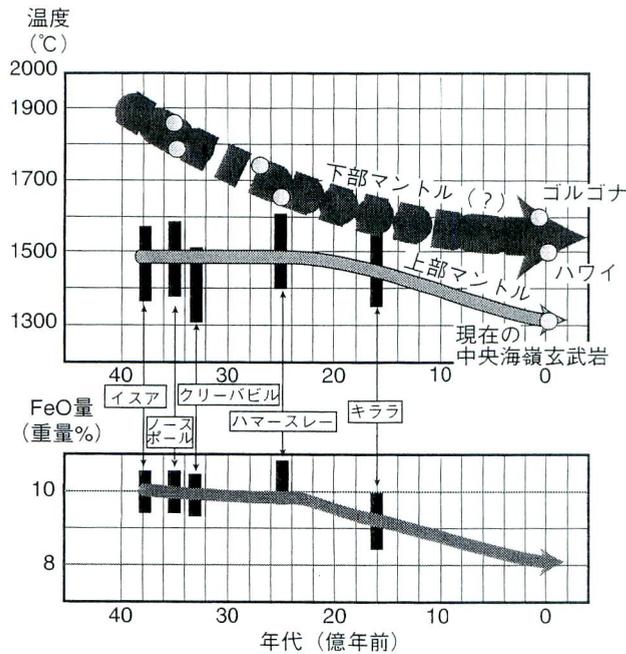


図4 中央海嶺玄武岩の下のマントルのポテンシャル温度の経年変化。38億年前から18億年前までは現在よりも150~200°C高かった。太古代の母マントルの組成は、現在よりも一貫して約2%程度FeO成分が高かった。

なわち、どの時代においても母マントルの鉄の含有量は現在よりも多く、10%程度であった。ちなみに現在は8%である。マントルのポテンシャル温度も約1480°C前後の数字を示し、現在より

も約200°C高い(図4)。これらの結果は、上部マントルの組成と温度は時代とともに変化してきたことを示している。ところで、太古代/原生代境界は地球史における激動の時代で、さまざまな地質現象が認められている(たとえば安定大陸の出現、本格的な氷河の出現、大量の縞状鉄鉱層の生成)。この時代に上部マントルの温度や組成変化が連続的におきたのか不連続的だったのかの答えは、今後の研究を待たねばならない。

(Tsuyoshi KOMIYA

東京工業大学理学部地球惑星科学教室)

文 献

- (1) D. MCKENZIE & M. J. BICKLE: J. Petrol., **29**, 625 (1988)
- (2) T. KOMIYA et al.: J. Geology (印刷中)
- (3) H. OHTA et al.: Lithos, **37**, 199(1996)
- (4) K. HIROSE & I. KUSHIRO: Earth Planet. Sci. Lett., **114**, 477(1993); I. KUSHIRO: in 'Earth processes', Geophys. Monogr. No. 95, A. S. BASU & S. HART eds., the American Geophysical Union (1996) pp. 109~122; M. B. BAKER & E. M. STOLPER: Geochim. Cosmochim. Acta, **58**, 2811 (1994)