

2004 年度 COE 活地球圏セミナー 後期 題 8 回 (2004 年 12 月 8 日)

### 「物質科学から挑むマントルウェッジの4次元解析」

講演者 山本 順司 (地球熱学研究施設)

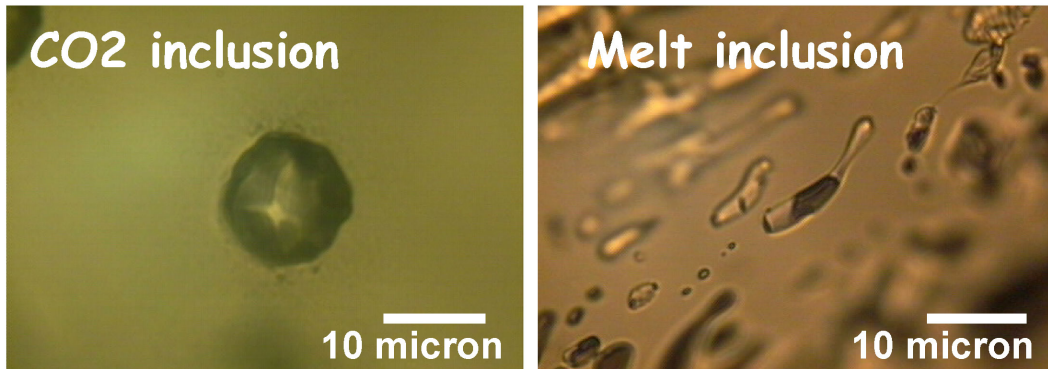
報告者 大塚 和彦 (地質学鉱物学教室 岩石講座)

沈み込み帯では地球表層物質である海洋プレートが地球内部に潜り込んでいく。そのため、地球規模の物質循環・エネルギー収支を理解する上で重要な場である。マントルウェッジとは、潜り込んでいく海洋プレートと陸側のプレートとの間に挟まれた楔状のマントル部分を指し、ここでは、沈み込んだ海洋プレートの脱水反応によって放出された水がマントル物質の部分熔融を誘発し、マグマが生成していると考えられている。しかし、マントルウェッジ内での流体の化学的性質やその時空間構造については未だに未解明な点が残されている。そこで、地表に露出するマントル物質を岩石学的・地球化学的な手法で研究し、マントルウェッジの化学的な特徴について考察した。表題の4次元解析とは、形成年代の異なる試料を系統的に分析することによって、マントルウェッジの空間構造の進化過程を探るという狙いで付けられている。

研究試料として、ロシアの極東地域のマントル捕獲岩を採取した。マントル捕獲岩とは、地下深部から上昇するマグマによって地表まで運ばれてきたマントル物質のことをいう。マントル捕獲岩以外にも、造山運動によって地表まで隆起したマントル貫入岩体を採取・研究することも可能であるが、マントル捕獲岩の方がより短い時間スケールで地表まで上昇してくるため、マントルの情報を精度よく保存しており詳細な解析に適している。ロシアの極東地域のマントル捕獲岩は、ジュラ紀から白亜紀にかけてのマグマ活動によって地表まで上昇してきたとされている。

マントル捕獲岩はスピネルレゾライトと呼ばれる岩石で、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、スピネルという固体相で構成されている。固体相の結晶内に包有される形で流体相も存在する (Fig.1)。このように鉱物の空洞のなかを充填する流体相のことを流体包有物と呼んでいる。マントル捕獲岩には、二酸化炭素からなる流体包有物とメルトからなる流体包有物が存在する。流体包有物は地下深部に存在した流体の直接の証拠であり、そこからさまざまな性質を推定することができる。たとえば、地下深部でホスト鉱物と平衡に存在していた流体包有物があつたとする。この岩石が地表まで上昇してくる際に、流体の成分やホスト鉱物の空洞の体積が変化しないとすると、閉鎖系である流体包有物の密度も変化しないことになる。このように密度が一定だと仮定できる場合には、常温常圧下で求めた流体包有物の密度から、地下深部の温度・圧力に制約を与えることができる。つまり、温度-圧力投影面上に密度一定の線をひくことができ、流体が平衡に存在したときの温度・圧力はこの等密度線上のどこかにプロットされることになる。流体包有物がホスト鉱物と平衡に存在していたかどうかは、流体包有物の産状観察から推定する。Fig.1 の二酸化炭素包有物のように、外形が鉱物本来の結晶面で覆われているときには、ホスト鉱物と流体が平衡に達していたと考えることができる。

Fig.1



マントル捕獲岩がマントルウェッジ内のどのような温度・圧力で安定であったかは、地質学的温度計・圧力計を用いて測定する。マントル捕獲岩に適用できる温度計としては、単斜輝石-斜方輝石間の元素分配の温度依存性を利用した温度計が知られている。その一方で、精度よく圧力を推定できる手法は開発されていなかった。このような現状をふまえて、二酸化炭素流体包有物のラマン散乱を利用した新たな圧力推定手法を開発した。二酸化炭素のラマンスペクトルは、対称伸縮振動が変角振動と共鳴することによって分裂した2本のピークが現れる。この2本のピークの波数差と強度比は密度と相間があることが1980年代の研究によって示されていた(Fig.2の左図は二酸化炭素のラマンスペクトル、右図は波数差-強度比関係の実測値)。そこで、さまざまな密度の二酸化炭素包有物を作成することができる装置を開発し、密度と波数差の関係を調べることによって、天然の二酸化炭素包有物のラマンスペクトルから流体の密度を求めることができるようになった(Fig.3)。密度が求めれば、二酸化炭素の状態方程式から温度と圧力を関係付けることができる。状態方程式から求めた等密度線は温度軸にほぼ水平な傾きを示していることから、地質学的圧力計として有用であることが明らかになった。単斜輝石-斜方輝石温度計と組み合わせると、この岩石が平衡であった温度・圧力はおよそ1GPa, 1000°Cで、これらの岩石および流体が最上部マントル起源であることが確認された。

Fig.2

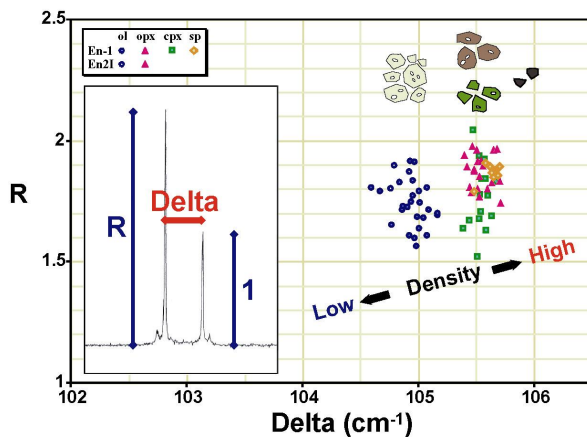
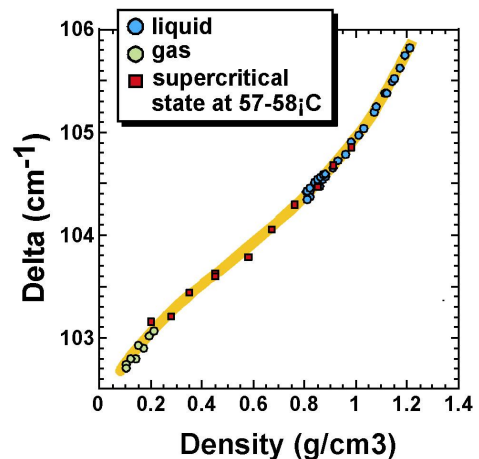
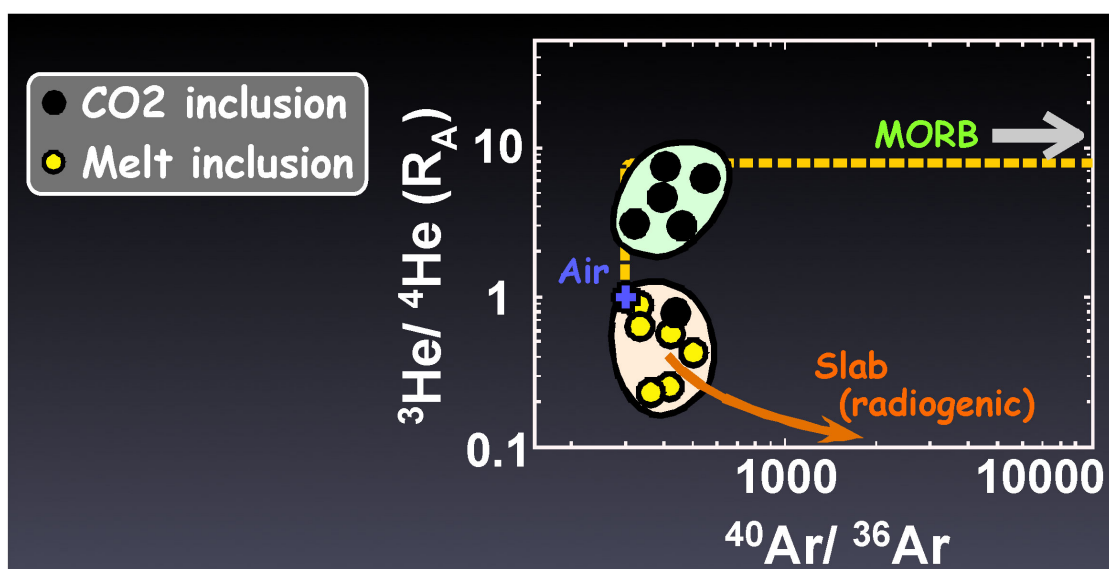


Fig.3



次に、マントル捕獲岩に包有された流体の化学的性質について考察した。マントル捕獲岩から分離したかんらん石を超真空中で粉碎し、流体成分を抽出して質量分析計を用いて希ガス成分の分析を行った(Fig.4)。二酸化炭素包有物を含む試料では、中央海嶺玄武岩と大気の混合曲線上でやや高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示すのに対して、メルト包有物のみを含む試料では大気よりも低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示した。 $^4\text{He}$ は $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ などが壊変して生じる放射性起源同位体であること、Heは希ガスなので化学反応を起こさないことなどを考えると、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が低いということは放射壊変によって $^4\text{He}$ が生成されたためだと考えることができる。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は1000以下で、大気に近い元素比を示した。海洋プレートを起源とする流体には大気的な成分やウランが含まれていることが期待できることから、極東ロシアのマントルウエッジに活動していた流体をつかまえることができたと考えられる。

Fig.4



これまでの研究によって、マントル捕獲岩の流体の化学的性質を分析する手法を確立することができた。今度は、形成年代の異なる様々な試料を分析することによって、マントルウエッジの4次元解析を目指すことになる。