

沈み込み帯における火成—変成作用の温度 圧力場と変形場

P-T and deformation fields of magmatism and metamorphism in subduction zones

岩森 光[1]

Hikaru Iwamori[1]

[1] 東大・理・地質

[1] Geological Inst., Univ. Tokyo

沈み込み帯におけるマントル対流、水溶液とメルトの生成・移動、相平衡条件を考慮した火成—変成作用の数値モデル化が行われた。計算結果と観測との対比の結果、(i) 沈み込むプレートから放出される流体の量や位置(深さ)が、主に沈み込むプレートの熱構造(プレートの年齢と沈み込み速度に依存)により支配されていること、(ii) 若くて熱いプレートあるいは海嶺の沈み込む場では、高压型と高温型変成帯がほぼ同じ場で短時間(数から数十万年)に形成され得ること、(iii) 変成帯の形成—上昇は、沈み込みの接線方向の応力を駆動力として、海嶺が沈み込む時の熱とH₂Oの供給・岩石の粘性低下によって引き起こされ得ることが分かった。

地球の沈み込み帯におけるマントル対流、温度構造、物質循環は、沈み込み帯での火山—地震活動および変成帯・造山帯の形成などの地学現象のみならず、地球規模での物質—エネルギー収支を考える上で重要である。しかしこれらの現象については、いくつかの過程が組合わさるために定性的にも不明な点が多い。制約条件を多く課すためには沈み込み帯における火成—変成作用、地震活動および地震波速度構造など、観察から得られる知見を総合して取り組む必要がある。このような観点からは、変成帯・付加帯とその岩石はプレートの沈み込みの入り口での情報(例えば沈み込むプレートの熱的条件・構成物質、応力状態)のレコーダーであると見なすことができる。このような観点に立ち、ここではまず沈み込み帯の温度・圧力場と火成—変成作用の関係について、フォワードな数値モデリングと観測との対比から述べる。続いて変成帯の変形場について述べ、最後に両者の関係について述べる。

(1) 沈み込み帯の温度・圧力場と火成—変成作用: 沈み込み帯における火成—変成作用のモデル化にあたっては、プレートの沈み込み・マントル対流にともなう温度・圧力の時空変化、水溶液やメルトに代表される液体の生成・移動、岩石学的条件(相平衡条件)を考慮することが重要である。従来の研究では、これらのうちのいずれかに焦点をあてて研究がなされてきた。しかしそのような手法では制約条件が不足するためにモデルごとに定性的にも大きく異なる結果が得られている。Iwamori(1998,2000)ではこれらの要素全てを取り入れたモデルを提出した。モデル計算と観測との対比の結果、以下のような点が明らかとなった:(i) 沈み込むプレートから放出される流体の量や位置(深さ)が、主に沈み込むプレートの熱構造(プレートの年齢と沈み込み速度に依存)により支配されており、日本列島を含む太平洋北西部、およびアメリカ大陸西岸部における火山の分布(一部の地域については地震波速度構造についても)が、マントル対流・熱構造・H₂Oの循環・マグマの生成を含むモデルによって定量的に説明され得る。また、中部日本や南部アメリカアンデス山脈の一部では、沈み込むプレートの形状や配置の特異性のために沈み込むプレートの熱回復が著しく遅く、H₂Oがプレートからの脱水反応が十分に起らず、沈み込んだH₂Oの数十パーセントが300km以深のマントルに持ち込まれていることが推定された。(ii) (i)で述べられたような現在の日本列島のように古くて冷たいプレートが沈み込む場とは対照的に、極めて若くて熱いプレートあるいは海嶺の沈み込む場では、高压型と高温型の変成帯に相当する温度圧力条件がほぼ同じ場で短時間(数から数十万年)に達成され得ることが分かった。このモデルに従えば、高压型と高温型変成帯がしばしば時間的・空間的に伴って出現すること(すなわち'paired metamorphic belt')を自然に説明する。

(2) 変成帯形成の変形場: 変成帯に見られる変形を有限の厚さをもつ2枚の剛体板に挟まれた粘性流体とその流動として捉え、様々な形状および力学的境界条件のもとに数値モデル化を行った。その結果、従来考えられているモデルのうち、プレートの沈み込みに伴う接線方向の応力を駆動力とする流動と変形が実際の観察事実をうまく説明し得ることが分かってきた。従来のモデルのうち、2枚のプレートの押し合いが変成帯をはみ出させるようにして上昇させるというモデルは、高压変成岩の生成条件に対応する深部からの物質の輸送効率および変形様式の両面で観察事実を説明することが難しい。変成帯の変形と上昇に接線方向の応力が卓越する場合にも、平均的な沈み込み帯の温度場(すなわち地球の平均プレート年齢である60Maのプレートの沈み込みに対応するような温度場)では、前弧部分は極めて冷たく流動変形を起こすことはできない。海嶺が沈み込むことによりもたらされる熱とH₂Oにより変成作用が比較的短時間に推進され、同時に岩石の粘性低下が流動—上昇を引き起こすのであろう。海嶺が沈み込む前後10—30Myrsの間は、前弧部分において、H₂Oが沈み込むプレートから上方に向かって多量に供給され続ける。しばしば高压変成岩に見られる圧力低下過程にともなう加水反応も、変成岩塊が上昇途中でこのようなH₂Oの供給を受けた結果であると理解される。