

12-11 日本列島の温度構造と地殻流体の分布

Thermal structure and geofluid distribution beneath the Japan arcs

岩森 光 (海洋研究開発機構 / 東京工業大学)

Hikaru Iwamori (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

日本列島のような沈み込み帯の構造や、そこで起こる地学プロセス、及びそれらに伴う物質・エネルギー輸送は、地震・火山噴火現象の理解や予測のみならず、惑星としての地球のダイナミクスを特徴づける¹⁾。例えば、硬いプレートに対する柔らかいプレート境界の実態、冷たいプレートの沈み込みに伴う熱いマグマの生成、片側沈み込みなどのトロイダル成分の起源など、地球の活発な物質・エネルギー循環を生み出す構造や機構が、沈み込み帯に凝縮されている。沈み込み帯の温度構造や流体(ここでは特に H₂O を主体とする水溶液、あるいは比較的多くの水を含むマグマを想定)の起源・分布・輸送現象は、これらの構造や機構を理解するための基本的要素である。

沈み込むプレート(以降、スラブ)、特にその表面に近い堆積物と海嶺玄武岩層は、沈み込み前の海水との反応によって含水化し、その沈み込みとともに地球内部に水を持ち込む^{2,3)}。圧力と温度上昇により、これらの水が圧密や相平衡によって放出され、流体相としてマントルや地殻と反応しながら上昇するが、比較的低温では蛇紋石や緑泥石などの含水鉱物を形成する一方、マントルウエッジの高温部で熔融を引き起こす⁴⁾。含水鉱物は粘性率が比較的小さく、スラブとマントルウエッジの力学カップリングを弱め、流れ場・温度場を変化させ、今度はそれが流体相の発生や岩石との反応に影響を与える。これらの非線形フィードバックの結果として、沈み込み帯の温度構造、流れ場、流体分布が決まるのである。

従来、このようなフィードバックシステムとして、沈み込み帯の温度構造と流体分布が整合的に評価・検証されたことはなかった。その原因は、相平衡や反応を含む2相流モデルと、流体の移動(それ自身が強い非線形性をもつ)の時空間スケールに見合った大きな組成・粘性勾配を正確に解くための数値技法が、組み合わせられてこなかったことにある。近年、そのような試みがなされ、沈み込み帯の温度構造、流れ場、流体分布を、火山弧の位置、地殻熱流量、地震波速度構造などと直接比較することが可能となってきた⁵⁾。

東北日本を具体的な検証場として行ったそのような数値計算の結果から、以下のことが分かった。

(1) 沈み込むスラブに含まれる水が0%の場合には、マントルウエッジでの熔融がおこらず、3%程度で実際の火山弧の幅に対応する熔融領域が形成され、それ以上、含水量が増加しても幅は余り変化しないこと、(2) 含水鉱物(特に蛇紋石)の粘性率が低くなると、沈み込み帯での火成作用の場所や強度に時間変化が現れ、 10^{19} Pa s を下回ると、マントルウエッジの大部分が低温化かつ含水化する、(3) 地殻熱流量はパラメータ依存性が小さく、観測される値の幅も大きいため、地下の温度・流れ場に、余り厳しい制約を与えない、ことなどが分かった。これらの結果、スラブの初期含水量3%程度、蛇紋岩の実効粘性率が 10^{20-21} Pa s 程度の時にもっともよく観察を説明することが分かった。この時得られるモデル計算の結果は、地震波速度構造(低速度領域の位置や強度)も良く説明する。

これらのモデルに、流体の発生と移動による元素輸送を組み込み、観察される火山岩の組成と対比するモデルを提案した⁶⁾。その結果、マントルウエッジ内での流体輸送には、浸透流とともに、クラックなどのまばらなチャンネル流が重要な役割をはたしている可能性が指摘された。

参考文献

- 1) Schubert, G., D.L., Turcotte, P. Olson, "Mantle Convection in the Earth and Planets," Cambridge University Press, Cambridge, 956pp., 2001.
- 2) Schmidt, M.W., and S. Poli, Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 163, 361-379, doi:10.1016/S0012-821X(98)00142-3, 1998.
- 3) Plank, T., and C.H. Langmuir, The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle, *Chem. Geol.*, 145, 235-394, doi:10.1016/S0009-2541(97)00150-2, 1998.
- 4) Iwamori, H., Transportation of H₂O beneath the Japan arcs and its implications for global water circulation, *Chem. Geol.*, 239, 182-198, doi:10.1016/j.chemgeo.2006.08.011, 2007.
- 5) Horiuchi, S, Numerical study of the effect of water in subduction zones, Ph.D. thesis, Univ. Tokyo, 109pp., 2013.
- 6) Ikemoto, A., and H. Iwamori, Numerical modeling of trace element transportation in subduction zones: implications for geofluid processes, *Earth Planets Space*, 66:26, doi:10.1186/1880-5981-66-26, 2014.